

المنظمة العربية للترجمة

مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

هاري فيلد جون سولي

مدخل إلى تقانة الهندسة الزراعية نهج حل المسائل

ترجمة

د. حاتم النجدي

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة

مدخل إلى تقانة
الهندسة الزراعية
نهج حل المسائل

اللجنة العلمية لسلسلة التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة :

د. محمد مرياتي

د. منصور الغامدي

د. حسن الشريف

د. حاتم النجدي

المنظمة العربية للترجمة

جون سولي

هاري فيلد

مدخل إلى تقانة الهندسة الزراعية نهج حل المسائل

ترجمة

د. حاتم النجدي

مراجعة

د. هيثم الناهي

د. حسن الشريف

توزيع: مركز دراسات الوحدة العربية

الفهرسة أثناء النشر - إعداد المنظمة العربية للترجمة
فيلد، هاري

مدخل إلى تقانة الهندسة الزراعية: نهج حل المسائل / هاري فيلد وجون سولي؛
ترجمة حاتم النجدي؛ مراجعة حسن الشريف وهيثم الناهي.
654 ص. - (تقنيات استراتيجية ومتقدمة - الزراعة؛ 1)
يشتمل على فهرس.

ISBN 978-614-434-006-6

1. الهندسة الزراعية. 2. التكنولوجيا. أ. العنوان. ب. سولي، جون (مؤلف).
ج. النجدي، حاتم (مترجم). د. الشريف، حسن (مراجع). هـ. الناهي، هيثم
(مراجع). و. السلسلة.
631

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبر بالضرورة
عن اتجاهات تبنيناها المنظمة العربية للترجمة»

Translation from English language edition:
Introduction to Agricultural Engineering Technology
by Harry Field and John Solie
Copyright © 2007 Springer US
Springer US is a part of Springer Science + Business Media
All Rights Reserved

© جميع حقوق الترجمة العربية والنشر محفوظة حصراً لـ:

المنظمة العربية للترجمة



بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 5996 - 113

الحمراء - بيروت 2090 1103 - لبنان

هاتف: 753031 - 753024 (9611) / فاكس: 753032 (9611)

e-mail: info@aot.org.lb - Website: http://www.aot.org.lb

توزيع: مركز دراسات الوحدة العربية

بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 6001 - 113

الحمراء - بيروت 2407 2034 - لبنان

تلفون: 750084 - 750085 - 750086 (9611)

برقياً: «مرعبي» - بيروت / فاكس: 750088 (9611)

e-mail: info@caus.org.lb - Website: http://www.caus.org.lb

الطبعة الأولى: بيروت، آذار (مارس) 2013

المحتويات

تقديم: سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة	
7	ضمن مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي
11	1. حل المسائل
39	2. الأرقام ذات الدلالة والصيغ القياسية
49	3. وحدات القياس الشائعة
71	4. الآلات البسيطة
91	5. محركات الاحتراق الداخلي
111	6. مجموعة نقل الحركة
143	7. الجرارات ومجموعات الاستطاعة
167	8. معايرة الآلات
211	9. كفاءة التجهيزات ومقدرتها
231	10. اقتصاديات الآلات الزراعية
271	11. الصوت والضجيج
283	12. قياس المسافة
311	13. الزوايا والمساحات
345	14. وصف الأراضي
359	15. قياس المناسيب التفاضلية والمطلقة
387	16. الطقس
405	17. السيول

423	18. تآكل التربة والحد منه
439	19. الري
463	20. تداول المنتجات الحيوية و تخزينها وحمايتها من الرطوبة
487	21. إدارة فضلات الحيوانات
501	22. العزل والتدفق الحراري
513	23. التدفئة والتهوية وتكييف الهواء
557	24. انتقاء العناصر البنيوية
569	25. مبادئ الكهرباء
577	26. الدارات الكهربائية التسلسلية والمتوازية
593	27. مقاسات الأسلاك الكهربائية
605	28. المحركات الكهربائية
621	الملاحق
639	الثبت التعريفي
643	ثبت المصطلحات
649	الفهرس

تقديم

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة ضمن مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي

يطيب لي أن أقدم لهذه السلسلة التي انتُقيت في مجالات تقنية ذات أولوية للقارئ العربي في عصر أصبحت فيه المعرفة محركاً أساسياً للنمو الاقتصادي والاجتماعي والتقني. ويأتي نشر هذه السلسلة بالتعاون بين مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية والمنظمة العربية للترجمة تلبية للسياسات والتوصيات التي تعنى باللغة العربية والعلوم ومنها:

أولاً: البيان الختامي لمؤتمر القمة العربي المنعقد في الرياض 1428هـ (2007م) الذي يؤكد ضرورة الاهتمام باللغة العربية، وأن تكون هي لغة البحث العلمي والمعاملات حيث نصّ على ما يلي: "تعزيز حضور اللغة العربية في جميع الميادين بما في ذلك وسائل الاتصال والإعلام والإنترنت، وفي مجالي العلوم والتقنية".

ثانياً: "السياسة الوطنية للعلوم والتقنية" في المملكة العربية السعودية التي انبثق عنها اعتماد خمس عشرة تقنية استراتيجية هي: المياه، والبتروكيمياويات، والغاز، والبتروكيمياويات، والتقنيات المتناهية الصغر (النانو)، والتقنية الحيوية، وتقنية المعلومات، والإلكترونيات والاتصالات والضوئيات،

والفضاء والطيران، والطاقة، والمواد المتقدمة، والبيئة، والرياضيات والفيزياء، والطبية والصحية، والزراعية، والبناء والتشييد.

ثالثاً: مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي التي تفعّل أيضاً ما جاء في البند أولاً عن حضور اللغة العربية على الإنترنت، حيث تهدف إلى إثراء المحتوى العربي عبر عدد من المشاريع التي تنفذها مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بالتعاون مع جهات عديدة داخل المملكة وخارجها. ومن هذه المشاريع ما يتعلق برقمنة المحتوى العربي القائم على شكل ورقي وإتاحته على شبكة الإنترنت، ومنها ما يتعلق بترجمة الكتب المهمة، وبخاصة العلمية منها، مما يساعد على إثراء المحتوى العلمي بالترجمة من اللغات الأخرى إلى اللغة العربية بهدف تزويد القارئ العربي بعلم نافع يُعمل به.

تشتمل السلسلة التي بين أيدينا على ثلاثة كتب في كل من التقنيات المعتمدة ضمن "السياسة الوطنية للعلوم والتقنية" وقد اختيرت بحيث يكون الأول مرجعاً عالمياً معروفاً في تلك التقنية، ويكون الثاني كتاباً جامعياً، والثالث كتاباً عاماً موجهاً إلى عامة المهتمين، وقد يغطي ذلك كتاب واحد أو أكثر. وقد تم بفضل الله الانتهاء من المجموعة الأولى من السلسلة وعددها ثلاثة وثلاثون كتاباً شملت التقنيات الإحدى عشرة الأولى إضافة إلى كتاب إضافي منفرد للمصطلحات العلمية والتقنية المعتمدة في هذه السلسلة. وها نحن ندشن المجموعة الثانية التي تغطي بقية التقنيات الخمس عشرة.

ولقد جرى انتقاء الكتب وفق معايير، منها أن يكون الكتاب من أمهات الكتب في تلك التقنية، ولمؤلفين يشهد لهم عالمياً، وأنه قد صدر بعد عام 2000م، وألا يكون ضيق الاختصاص بحيث يخاطب فئة محدودة، وأن تكون النسخة التي سترجم عنها مكتوبة باللغة التي ألف بها الكتاب وليست مترجمة عن لغة أخرى، وأخيراً أن يكون موضوع الكتاب ونهجه عملياً تطبيقياً يصبّ في جهود نقل التقنية والابتكار، ويساهم في عملية التنمية الاقتصادية من خلال زيادة المحتوى المعرفي العربي.

إن مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية سعيدة بصدور المجموعة الثانية من هذه السلسلة، وأود أن أشكر المنظمة العربية للترجمة على الجهود التي بذلتها لتحقيق الجودة العالية في الترجمة والمراجعة والتحرير والإخراج، وعلى حسن انتقائها للمترجمين المتخصصين، وعلى سرعة الإنجاز. كما أشكر اللجنة العلمية للسلسلة التي أنيط بها الإشراف على إنجازها في المنظمة وكذلك زملائي في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية الذين يتابعون تنفيذ مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي.

الرياض 10/3/1334 هـ

رئيس مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

د. محمد بن إبراهيم السويل

1.

حل المسائل

1.1 الأهداف

1. التمكن من تعريف حل المسألة.
2. التمكن من وصف طرائق حل المسائل الشائعة.
3. التمكن من انتقاء الطريقة الملائمة لحل مسألة.
4. فهم وظائف واستعمال وريقات الجدولة.
5. فهم واستعمال مخططات الجريان والرموز الشائعة فيها.

2.1 تقديم

يُعتبر حل المسائل جزءاً من الحياة. فنحن نواجه عدداً كبيراً منها يومياً. وبعضها يتعلق بالأشخاص وبالعلاقات البشرية، في حين أن بعضها الآخر يتطلب حلولاً رياضية. وسوف نتعامل في هذا الفصل مع مسائل تتطلب حلولاً رياضية، ومع طرائق عدة يمكن اتباعها لحلها.

3.1 حل المسائل الرياضية

حل المسائل الرياضية هو عملية تُستعمل فيها معرفة ومهارات سبق اكتسابها لتحقيق متطلبات حالة غير مألوفة. وجوهر العملية هو المقدرة على استعمال المعلومات والحقائق للوصول إلى الحل. وثمة خاصيتان لحل المسائل يجب تذكرهما حين إجراء الحل باستعمال العمليات الرياضية :

1. لا تعطيك العملية الرياضية الجواب دائماً، بل مجرد مزيد من المعلومات التي تساعدك على اتخاذ قرارات قائمة على المعرفة. فاتخاذ القرارات الجيدة يتطلب معلومات جيدة.

2. حيثما كانت الحالة المثالية للحل غير ممكنة أو غير متوقعة، يجب تحديد مستويات للقبول به. فإذا لم يكن الكمال ممكناً، وجب تحديد مقدار الخطأ الذي يمكن السماح به. ويمكن للخطأ أو المستوى المقبول أن يُحدّد بواسطة المعايير أو توصيات المصنّعين أو المقارنة بحالات أو آلات أخرى، أو بالاعتماد على الخبرة الشخصية.

وسوف نستعمل هاتين الخاصيتين ونشرحهما بمزيد من التفصيل في الفصول القادمة بواسطة الأمثلة.

يمكن حل المسائل بطرائق مختلفة. وأحد أهداف هذا الفصل هو زيادة معرفة القارئ بطرائق الحل. لذا سوف نناقش سبع وسائل مختلفة لحل المسائل الرياضية هي: المخططات والأشكال المبسطة، والنماذج والأنماط، والمعادلات، والصيغ الرياضية، وحذف الوحدات، والتعليل الحدسي، ووُزَيْقات الجدولة، ومخططات الجريان.

1.3.1 المخططات والأشكال المبسطة

تشتمل بعض المسائل على تحديد كمية من الأشياء، من مثل عدد المسامير اللازمة لتثبيت صفيحة من الخشب، أو عدد الأوتاد في جدار. وحين حل هذا النوع من المسائل، من المفيد رسم مخطط أو شكل لها.

مسألة: ما هو عدد القوائم اللازمة لبناء سور طوله 100 قدم وتفصل بينها مسافة تساوي 10 أقدام؟

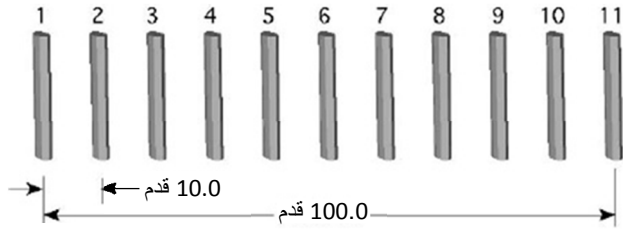
الحل: بالنسبة إلى معظم الناس، الجواب هو:

$$P = \frac{100 \text{ ft}}{10 \text{ ft/post}} = 10 \text{ posts}$$

قدم: ft، قائمة: post.

إلا أن الشكل 1.1 يبيّن أن عدد القوائم الصحيح يساوي 11.

هذا مثال لحالة يمكن أن ينتج فيها جواب خاطئ إذا لم تحلّ المسألة تحليلاً صحيحاً. في هذا المثال، العدد 10 هو عدد المسافات الفاصلة بين القوائم، لا عدد القوائم.



الشكل 1.1 عدد القوائم

2.3.1 الأنماط

ويمكن أن تعتمد حلول بعض المسائل على المقدرة على اكتشاف أنماط ضمن مجموعة من الأعداد أو القيم. وغالباً ما يكون من المفيد استقصاء الأنماط ضمن عينة بدل استقصائها ضمن كامل المجموعة. وعندما تُكتشف تلك الأنماط ويتبيّن أنها منسجمة مع العينة، يمكن استعمالها للتنبؤ بحل لكامل المجموعة.

مسألة: لدى مزارع يربي أبقاراً حلوباً خمسة أبناء، وكل منهم مسؤول عن

مدخل إلى تقانة الهندسة الزراعية نهج حل المسائل (*)

السلسلة:

تضم هذه السلسلة ترجمة لأحدث الكتب عن التقنيات التي يحتاج إليها الوطن العربي في البحث والتطوير ونقل المعرفة إلى القارئ العربي.

الكتاب:

يُعَدُّ هذا الكتاب مرجعاً قيماً لطلاب الزراعة في المستوى التمهيدي. وقد جرى تنقيح هذه الطبعة وتحديثها وإغناؤها بحيث تتوافق مع معايير ووحدات الجمعية الأميركية للمهندسين الزراعيين والحيويين ASABE. ويهدف الكتاب إلى ما يلي:

● اطلاع الطلاب على طيف واسع من تطبيقات مبادئ الهندسة على الزراعة.

● مناقشة مجموعة مختارة من المواضيع المستقلة، ذات العلاقة بالزراعة.

● تطوير مهارات الطلاب في حل المسائل.

ويتضمن كل فصل الأهداف التعليمية منه، إضافة إلى مقدمة وأمثلة على شكل مسائل حيثما كان ذلك ملائماً. ومسائل إضافية باستعمال الوحدات المترية الدولية.

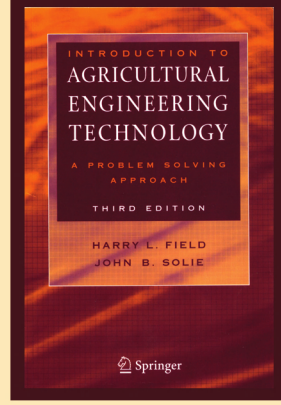
المؤلفان:

هاري فيلد: أستاذ مساعد لعلوم المكننة الزراعية بقسم الأنظمة البيولوجية والهندسة الزراعية بجامعة أوكلاهوما.

جون سولي: أستاذ البيولوجيا الميكانيكية بقسم الأنظمة البيولوجية والهندسة الزراعية بجامعة أوكلاهوما.

المترجم:

د. حاتم النجدي: أستاذ في الجامعات السورية متخصص بالإلكترونيات والاتصالات، ويهتم بالترجمة العلمية من الإنجليزية إلى العربية.



(*) الكتاب الأول من الزراعة

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة

1. المياه
2. البترول والغاز
3. البتروكيماويات
4. النانو
5. التقنية الحيوية
6. تقنية المعلومات
7. الإلكترونيات والاتصالات والضوئيات
8. الفضاء والطيران
9. الطاقة
10. المواد المتقدمة
11. البيئة
12. الرياضيات والفيزياء
13. الطب والصحة
14. الزراعة
15. البناء والتشييد



المنظمة العربية للترجمة



مدينة الملك عبد العزيز
للعلوم والتقنية KACST

ISBN 978-614-434-006-6
9 786144 340066

الثمان: 40 دولاراً
أو ما يعادلها

جزء من الجَراية اليومية للبقرات التي يبلغ عددها مئة بقرة. وأكبرهم مسؤول عن الحبوب، والثاني مسؤول عن المعدنيات، والثالث مسؤول عن التبن، والرابع مسؤول عن الأعشاب المجففة، والخامس مسؤول عن الماء. وبدلاً من علف كل البقرات، قرر الابن الأول أنه لن يعلف أيًا منها في ذلك اليوم. أما الابن الثاني فقد قرر علف بقرة واحدة من كل اثنتين، وقرر الثالث علف بقرة من كل ثلاث بقرات... وهلم جرأً. واكتشف الأب سريعاً الطريقة التي عُلِفَت بها البقرات، وهو يرغب في معرفة البقرات التي لم تُعلَف أو تُعطى ماء.

الحل: عندما يواجه المرء مسألة من هذا النوع، من المفيد عادة رسم جدول. وفي هذه الحالة، رسم جدول لمئة بقرة يستغرق وقتاً طويلاً. لذا، نختار عينة من البقرات. فإذا كانت الأنماط في العينة صحيحة، كان ثمة احتمال عال لأن تكون صحيحة في مجموعة كبيرة البقرات. إلا أن تحديد حجم العينة ليس سهلاً دائماً. لذا خُذْ عينة، وإذا لم تظهر فيها أنماط واضحة، زد حجمها إلى أن تظهر الأنماط. هنا سوف نبدأ بأول 10 بقرات وفقاً للجدول 1.1.

لم تتلقَ البقرتان رقم 1 ورقم 7 في هذه العينة أي شيء. فهل هاتان المعلوماتان كافيتان لتكوين نمط؟ سوف نفترض أن البقرة التالية التي لم تتلقَ أي علف أو ماء هي البقرة رقم 11. فلماذا؟ كي نختبر هذه الفرضية، تجب زيادة حجم العينة بحيث تشتمل على عدد أكبر من البقرات.

يُري الجدول 2.1 أن الفرضية صحيحة. فالبقرات رقم 11 و 13 و 17 و 19 لم تتلقَ حبوباً أو مواد معدنية أو تبناً أو عشباً مجففاً أو ماء. وأصبح الآن من الآمن أن نعتبر أنه يمكن استعمال الفرضية لتحديد جميع حيوانات القطيع التي لم تتلقَ أي شيء (الحيوانات التي تتصف أرقامها بأنها أعداد أولية، أي تلك التي لا تنقسم إلا على نفسها).

الجدول 1.1 أنماط في الأعداد في العينة الأولى.

رقم البقرة										الابن	الجارية
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	1	حبوب
نعم		نعم		نعم		نعم		نعم		2	معدنيات
	نعم			نعم			نعم			3	تبين
		نعم				نعم				4	أعشاب جافة
نعم					نعم					5	ماء

الجدول 2.1 أنماط في الأعداد في العينة الثانية .

رقم البقرة										الابن	الجارية
20	19	18	17	16	15	14	13	12	11		
لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	1	حبوب
نعم		نعم		نعم		نعم		نعم		2	معدنيات
		نعم			نعم			نعم		3	تبين
نعم				نعم				نعم		4	أعشاب جافة
نعم					نعم					5	ماء

3.3.1 المعادلات والصيغ

المعادلات والصيغ هي أدوات متشابهة جداً لحل المسائل، وبعض الكتب يدرسها مستقلة عن بعضها، إلا أننا سوف نعتبرها متماثلة في هذا الكتاب. تُعتبر المعادلات طريقة لبيان العلاقة بين متغيرات المسألة المختلفة، وهي تُشتق وفقاً لحاجة كل مسألة. أما الصيغ فهي معادلات متكررة الاستعمال أو أنها فريدة من ناحية ما إلى حد أنها تُحفظ في الذاكرة من دون الحاجة إلى اشتقاقها.

1.3.3.1 المعادلات

يحتاج حل بعض المسائل إلى اشتقاق معادلة رياضية اعتماداً على نمط ما أو على نوع آخر من العلاقة بين الأعداد. وتتصف هذه المعادلات بأنها فريدة لكل مسألة.

مسألة: ما هو طول السلك اللازم لبناء سور وحيد السلك حول حقل مستطيل بعدها يساويان 450 قدماً و 350 قدماً؟

الحل: يوجد في هذا المثال ثلاثة مقادير: طول المستطيل وعرضه وطول محيطه. ومن الواضح أن طول المحيط تابع للمتغيرين الآخرين. نستعمل الرمز L لتمثيل الطول، والرمز W لتمثيل العرض، والرمز Pr لتمثيل طول المحيط. ونظراً إلى أنه يوجد في المستطيل طولان وعرضان، يمكن حساب طول المحيط وفقاً لما يلي:

$$\begin{aligned} Pr &= (L + L) + (W + W) \\ Pr &= (450\text{ft} + 450\text{ft}) + (350\text{ft} + 350\text{ft}) \\ &= 900\text{ft} + 700\text{ft} \\ &= 1600 \text{ ft} \end{aligned}$$

2.3.3.1 الصيغ

تكون العلاقات بين المتغيرات ثابتة في بعض المسائل، ولذا يمكن حفظ المعادلة الخاصة بتلك المسألة ذهنياً واستعمالها حين الحاجة. وتسمى هذه المعادلات صيغاً أحياناً. ومن الخواص الأخرى للصيغ أنها تحتوي عادة على ثابت، ومن أمثلة ذلك صيغة مساحة الدائرة: $A = \pi r^2$ ، حيث يمثل الرمز $\pi = 3.14$ ثابتاً.

ثمة نقطتان هامتان في استعمال الصيغ:

1. يجب أن تُدخَّل الأعداد فيها مع وحدات القياس الملائمة. فكل الصيغ مصممة لوحدات معينة للأعداد، خاصة إذا احتوت على ثوابت. وإذا لم تكن الوحدات صحيحة، كان الجواب خطأ. ومن أمثلة ذلك المعادلة المستعملة لتحديد معدل استعمال رشاش المبيدات ذي الذراع:

$$Ar \frac{\text{gal}}{\text{ac}} = \frac{5,940 \times Fr (\text{gal/min})}{S(\text{mi/h}) \times ns (\text{in})}$$

معدل الرش: Ar (Application Rate)، ومعدل تدفق السائل: Fr (Flow Rate)، وسرعة خروج السائل: S (Speed)، والمسافة بين كل فوهتين متجاورتين: ns (Nozzle Spacing) من الواضح أن وحدات المعادلة غير متجانسة (حين ضم الوحدات معا لا تعطي نتيجة وحدة معدل الرش gal/min). تُعدُّ هذه المعادلة مثلاً للثابت تحويل الوحدات (أي الثابت 5,940) الذي تتضمن فيه قيم تحويل الوحدات التي تُستعمل دائماً في كل مرة تحل المسألة فيها. فإذا أُدخِلت أي قيمة من هذه القيم بوحدات مختلفة، كان الجواب غير صحيح. في هذا المثال، وعندما نحسب معدل الرش باستعمال حذف الوحدات وقيم التحويل، يُصبح مصدر الثابت واضحاً:

$$\begin{aligned} \frac{\text{gal}}{\text{ac}} &= \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{1 \text{ mi}} \times \frac{1 \text{ mi}}{5,280 \text{ ft}} \\ &\quad \times \frac{43,560 \text{ ft}^2}{1 \text{ ac}} \times \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \times \frac{1}{1 \text{ in}} \\ &= \frac{31,363,200}{5,280} \\ &= 5,940 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \end{aligned}$$

2. يجب أن تكون قادراً على إعادة ترتيب الصيغة لحساب القيمة المجهولة. مثلاً، يمكن إعادة ترتيب معادلة معدل الرش لحساب المسافة بين الفتحات بالإنش ns:

$$ns(i) = \frac{5,940 \times Fr(\text{gal/min})}{S (\text{min/hr}) \times Ar (\text{gal/ac})}$$

في ما تبقى من هذا الكتاب، سوف نستعمل الكلمتين: معادلة وصيغة بالمعنى عينه.

4.3.1 حذف الوحدات

ثمة مسائل أكثر تعقيداً من الأمثلة التي قدّمناها، ولا توجد لكثير منها أنماط أو معادلات مشتقة سابقاً. ويمكن وضع معادلات لبعض هذه المسائل، لكن النهج البديل هو حذف الوحدات. تتضمن المعادلات التي من هذا النوع عادة مقادير عدة، وكل تلك المقادير، باستثناء π ، تقترن بوحدات، من مثل القدم والباوند والغالون وغيرها. ويُجرى حذف الوحدات وفقاً لمبدأين رياضيين: (1) تخضع وحدات القياسات المقترنة بأعداد (قدم، غالون، دقيقة...) للقواعد الرياضية نفسها التي تخضع لها الأعداد. (2) تخضع وحدات الأعداد أيضاً لقواعد الكسور عينها. فمثلاً:

$$2 \times 2 = 4 \text{ or } 2^2$$

وباستعمال وحدة القدم تصبح المعادلة نفسها:

$$2 \text{ ft} \times 2 \text{ ft} = 2 \times 2 \text{ and ft} \times \text{ft or } 4 \text{ ft}^2$$

وبغية مراجعة قواعد الكسور، ادرس المثال التالي:

$$\frac{3}{4} \times \frac{4}{5} = \frac{3 \times 4}{4 \times 5} = \frac{3}{5}$$

في هذا المثال، تلغي الأربعتان الموجودتان في البسط والمقام بعضهما
(1 = 4/4).

وحين وجود وحدات قياسات، تطبّق عليها القاعدة نفسها:

$$\frac{3 \text{ ton}}{4 \text{ hr}} \times \frac{4 \text{ hr}}{5 \text{ day}} = \frac{12 \text{ ton}}{20 \text{ day}} = 0.36 \frac{\text{ton}}{\text{day}}$$

نتفانى في هذا المثال الأربعتان ووحدتهما، وتصبح الوحدات التي لم تتفان
وحدات الجواب. وبيّن المثال التالي شكلاً آخر لهذا المبدأ:

$$5 \frac{\text{gal}}{\text{hr}} \times 3 \text{ hr} = 15 \text{ gal}$$

في هذا المثال، تلغي وحدتا الساعة في البسط والمقام بعضهما ويبقى الغالون
وحدة للجواب.

مسألة: ما وزن باينت من الماء مقدراً بالليبرة؟

الحل: إذا توافر ميزان مع مكيال لباينت واحد، فإن من السهل وزن باينت
الماء. وثمة طريقة أخرى وهي استعمال عوامل التحويل المدرجة في جداول
الأوزان والمكاييل (الملحق 1، انظر ملحق الترجمة أيضاً)، مع حذف الوحدات.

لاحظ أن نوعين من المتغيّرات قد استُعْمِلَا في هذا المثال هما الحجم والوزن.
وطبيعة المسألة الفعلية هي إيجاد قيم التحويل التي تحوّل من حجم (باينت) إلى
وزن (ليبرة).

بداية، ارجع إلى الملحق 1 وحدّد عوامل التحويل التي تستعمل كلاً من الحجم
والوزن، وسوف تجد أن 1 قدم مكعب يساوي 7.48 غالون، وأن 1 غالون
يساوي 8 باينت. وهذه هي مجرد البداية، فأنت بحاجة إلى شيء آخر. إذا

علمت أيضاً أن وزن 1 قدم مكعب من الماء يساوي 62.4 ليبرة، أمكن حل المسألة وفقاً لما يلي:

$$W_{\text{water}} \left(\frac{\text{lb}}{\text{pt}} \right) = \frac{62.4 \text{ lb}}{1 \text{ ft}^3} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{7.48 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ gal}}{8 \text{ pt}}$$

$$= 1.04 \frac{\text{lb}}{\text{pt}}$$

تلغي وحدات البايونت والغالون والقدم المكعب الموجودة في البسط والمقام بعضها، وتبقى وحدة الجواب ليبرة مقسومة على باينت. يوضّح هذا المثال مبادئ عدة في حذف الوحدات:

- من الضروري جداً البدء بكتابة وحدات الجواب الصحيحة.
- ثم اكتب إشارة المساواة.
- ابدأ بإدخال القيم مع وحداتها. يجب أن تكون للقيمة الأولى وحدة من الوحدات المطلوبة في الموضع الصحيح (البسط أو المقام)، حتى لو كانت قيمة تحويل وحدات من الملحق 1 أو من مصدر آخر. إن البدء بوحدة من وحدات المتغيرات في الموضع الصحيح يدرأ الاضطرار إلى جعل المسألة مقلوبة.
- حين إدخال أول قيمة، اختر قيمة تحذف الوحدات غير المرغوب فيها، إن وُجدت.
- استمر بإضافة متغيّرات ذات وحدات ملائمة حتى تبقى الوحدات المرغوب فيها للجواب.
- إذا التغت جميع الوحدات باستثناء تلك المرغوب فيها للجواب، وكانت الوحدات في المواضع الصحيحة، فإن المصدر الوحيد لأي خطأ بعدئذ سوف يكون خطأ حسابياً.

تفيد عملية حذف الوحدات أيضاً في المسائل التي تتطلب تطوير وحدات جديدة. على سبيل المثال، من المقادير الشائعة جداً في الزراعة الاستطاعة. ويمكن أن تتخذ الاستطاعة وحدات مختلفة تبعاً لكونها كهربائية أو ميكانيكية. فوحدات الاستطاعة الميكانيكية هي $\text{ft} \cdot \text{lb}/\text{min}$ ، وحل مسألة حُرّكت فيها كتلة وزنها يساوي 24 أونصة مسافة 15 قدماً خلال 5 ثوان يبدو كالتالي:

$$P \left(\frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{min}} \right) = \frac{15 \text{ ft}}{5 \text{ sec}} \times \frac{60 \text{ sec}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ lb}}{16 \text{ oz}} \times \frac{24 \text{ oz}}{1}$$

$$= \frac{21,600 \text{ ft} \cdot \text{lb}}{80 \text{ min}} = \frac{270 \text{ ft} \cdot \text{lb}}{\text{min}}$$

(لاحظ أن $\text{ft} \cdot \text{lb}$ هي وحدة مركّبة، وليست قدماً مطروحة منها ليبيرة أو مضروبة بليبيرة). وهذه العملية سوف تتجح أيضاً في مسائل ذات وحدات أكثر تعقيداً وأكثر متغيّرات.

5.3.1 التعليل الحدسي

التعليل الحدسي هو عملية يصل من خلالها المرء إلى الجواب الصحيح بالبصيرة أو الحدس، من دون أن يكون قادراً على شرح العملية المتبعة عادة. وتعتمد العملية الفعلية على الشخص ولا يمكن تحديدها بخطوات متسلسلة.

مسألة: تطلبُ إلى مُستخدَميك تحديد عدد الآليات الموجودة في المرآب والتي تحتاج إلى تغيير أغطية مقاعدها. فيعودون إليك بجواب هو 150 آلية. ثم تُدرك أنك تحتاج إلى معرفة عدد الشاحنات الصغيرة ذات المقعد الواحد وعدد السيارات ذات المقعدين. ويتذكّر مستخدموك أن عدد السيارات التي تحتاج مقاعدها إلى استبدال أغطيتها يساوي عدد الشاحنات الصغيرة. فما هو عدد

أغطية مقاعد السيارات والشاحنات الصغيرة الذي يحتاج إلى استبدال؟

الحل: يحل بعض الناس هذه المسألة جبرياً، إلا أنه يمكن استعمال التعليل الحدسي لتحقيق سلسلة من التقريبات. إذا كان ثمة 20 شاحنة صغيرة، كان هناك 20 سيارة ذات مقعدين، واحتجت إلى 60 غطاء مقعد:

$$[(20 \times 1) + (20 \times 2) = 60]$$

وإذا كان ثمة 40 سيارة و 40 شاحنة احتجت إلى 120 غطاء، وإذا كان ثمة 60 من كل منها احتجت إلى 180 غطاء. لذا يجب أن يكون عدد كل من السيارات والشاحنات 50. وهذا يعني أنك تحتاج إلى 50 غطاء مقعد للشاحنات و 100 غطاء للسيارات.

6.3.1 ورُبقات الجدولة

وَقَرَّ تطوير الحواسيب واستعمالها طريقة مفيدة جداً لحل المسائل، هي ورُبقات الجدولة (Spread Sheets). فورُبقة الجدولة هي أداة إدارة بيانات فعالة جداً وتُستعمل لإدخال البيانات والمعلومات ومعالجتها ورسم منحنيات بيانية لها. لكنْ توجد بعض الاختلافات في سمات ورُبقات الجدولة المختلفة، مع أن جميعها يتصف بسمات كثيرة مشتركة. وفي المقاطع التالية سوف نقدم بعض سمات ورُبقات الجدول المشتركة واستعمالاتها.

1.6.3.1 إدخال البيانات

كي تتمكّن من استعمال البيانات ضمن ورُبقة جدولة، يجب أن يعرف الحاسوب أمكنتها. ويتحقّق ذلك بإنشاء شبكة أو مصفوفة مكوّنة من أعمدة

وأسطر. ومن الشائع تعريف الأعمدة بأحرف، وتعريف الأسطر بأرقام. ويُسمى تقاطع كل عمود مع سطر بالخلية. وبذلك فإن تسميات الأعمدة والأسطر تحدّد لكل خلية عنواناً أو مكاناً فريداً وفقاً لما هو مبين في الشكل 2.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	X									
2										
3										
4										
5										
6					XX					
7										
8										
9										
10										

الشكل 2.1 أعمدة وأسطر ورقيقة الجدولة

في مثال ورقيقة الجدولة المبين في الشكل 2.1، عنوان الخلية المشار إليها ب xx هو E6، أي إنها موجودة في العمود E و السطر 6. وتختلف تسميات الأعمدة والأسطر بالأحرف والأرقام باختلاف منتج ورقيقة الجدولة. وطريقة التسمية الشائعة هي تكرار أحرف الأبجدية مرات عدة والتوقّف عند I5. أما الأسطر فنُرقّم بأرقام تزيد على 10,000. لذا فإن الشبكة التي تحتوي على 256 عموداً و 10,000 سطر تتضمن 2,560,000 خلية معلومات. وتُدخل البيانات إلى ورقيقة الجدولة بكتابتها في المواقع الملائمة لها.

وتتصف ورقيقات الجدولة بسمات كثيرة أخرى من حيث تسجيل وتداول البيانات. وإحدى تلك السمات إمكان ربط المعلومات الموجودة في ورقيقات مختلفة مع بعضها. فعلى سبيل المثال، يُستعمل في أحد أنواع ورقيقات الجدولة المصطلح "دفتر العمل" لوصف ملف ورقيقات جدولة. ويمكن لدفتر العمل أن يحتوي على صفحات عدة، ويمكن ربط البيانات الموجودة في صفحة معينة مع تلك الموجودة في صفحة أخرى. فمثلاً، إذا احتوت الخلية B3 في الصفحة رقم

1 على المعادلة "Sheet2!C4"، تظهر في تلك الخلية محتويات الخلية C4 الموجودة في الصفحة رقم 2، وفقاً للمبيّن في الشكل 3.1.

The diagram illustrates two overlapping spreadsheets. Sheet #1 is on the left, with columns A through E and rows 1 through 6. Sheet #2 is on the right, with columns B through E and rows 1 through 6. The overlapping region contains the text 'XXX' in two cells: Sheet #1, Row 3, Column B and Sheet #2, Row 5, Column C.

الشكل 3.1 الربط بين الصفحات في دفتر عمل.

ويتصف معظم أنواع وُريقات الجدولة بإمكانية استيراد البيانات من مصادر أخرى. وتبين الخبرة المكتسبة من استعمال الُورِقات أن على المستعمل أن يفكر بمقدار البيانات التي سوف تُستعمل وبأفضل طريقة لتنظيمها قبل البدء بإدخالها. وهذا يجعل وُريقة الجدولة أسهل استعمالاً، ويقلل أخطاء المستعمل.

صحيح أن الاستعمال الرئيسي لورققات الجدولة هو معالجة البيانات وحساب نتائجها، إلا أنه يمكن تضمين نص في الخلايا أيضاً ويمكن استعماله لمعالجة البيانات.

2.6.3.1 معالجة البيانات والحساب

تُمكن معالجة بيانات وُريقة الجدولة بأي عملية رياضية أو تابع رياضي تقريباً. وتُستعمل التوابع الرياضية بإدخال المعادلة مع التوابع في الخلية التي يرغب المستعمل في وضع النتيجة فيها.

على سبيل المثال، إذا كانت العملية المرغوب فيها هي جمع العددين المبيَّنين في ورقة الجدولة في الشكل 4.1، ووضع الجواب في الخلية D2، وُضعت

المعادلة الخاصة بهذه العملية في الخلية D2، وفق المبيّن في الشكل 5.1. لاحظ أن المعادلة تبدأ بإشارة المساواة "=". وفي معظم ورّقات الجدولة، تدل الإشارة "=" الحاسوب على أن عملية رياضية أو نصية سوف تُنفَّذ باستعمال بيانات من خلية أو خلايا أخرى، وأن النتيجة سوف توضع في الخلية التي تحتوي على إشارة المساواة.

	A	B	C	D	E
1					
2	3	4			
3					
4					
5					
6					

الشكل 4.1 جمع البيانات في ورّيقة جدولة.

	A	B	C	D	E
1					
2	3	4		=A2+B2	
3					
4					
5					
6					

الشكل 5.1 مثال لعملية رياضية في ورّيقة جدولة.

يُعدُّ هذا المثال بسيطاً، إلا أن جميع العمليات الرياضية تُدخَل بالطريقة نفسها. ولتسهيل هذا الإجراء، تتضمن ورّقات الجدولة أيضاً خياراً يسمّى التابع (Function). والتتابع هي عمليات رياضية مبرمجة، ومن أمثلتها الجمع والجذر التربيعي والتتابع المثلثاتية. ويمكن الوصول إلى هذه التتابع عادة عبر

قائمة خيارات مستقلة. ويمكن تصنيف التوابع ضمن فئات منها التوابع المالية، وتوابع الوقت والتاريخ، والتوابع الرياضية والمثلثات والمنطقية والإحصائية، وتوابع البحث وقواعد البيانات والنصوص والمعلومات. لن نشرح جميع هذه التوابع في هذا الكتاب، لكننا سوف نقدّم مثالين لتوضيح كيفية عملها. يمكن استكمال مثال الجمع المبين في الشكل 5.1 باستعمال تابع الجمع (sum) الموجود ضمن فئة الرياضيات والمثلثات (Math and Trig).

تظهر القيمة 7، وهي نتيجة جمع 3 و 4 في هذا المثال، في الخلية D2 (انظر الشكل 6.1). ليس ثمة من فائدة واضحة من استعمال تابع الجمع (sum) في هذا المثال بدل إدخال معادلة جمع عددين، إلا أن تلك الفائدة تكون أكثر جلاء حين جمع عدد أكبر من الأعداد، وفقاً للمبين في الشكل 7.1.

	A	B	C	D	E
1					
2	3	4		=sum(A2:A3)	
3					
4					
5					
6					

الشكل 6.1 استعمال تابع الجمع (sum).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	2	4	8	21	45	234		=sum(A2:F2)		
3		5								
4		8								
5		10								
6		234								
7		782								
8										
9		=sum(B2:B7)								
10										

الشكل 7.1 استعمال تابع الجمع (sum) مع مجموعة من الأعداد.

إن استعمال تابع الجمع (sum) أسهل كثيراً من كتابة معادلة جمع أعداد عدة. لكتابة معادلة للسطر 2 من الشكل 7.1 باستعمال المؤثر "+"، يجب تضمين عناوين جميع خلايا تلك المعادلة مع وضع ذلك المؤثر بينها. أي يجب إدخال المعادلة "A2+B2+C2+D2+E2+F2" في الخلية H2. لكن إدخال هذه المعادلة باستعمال تابع الجمع أسهل. يُستعمل التابع (sum) بإدخال إشارة المساواة "=" في الخلية التي سيوضع فيها الجواب، ثم يُكتب فيها sum. بعدئذ يُدخل قوس يساري "(", ثم يُدخل عنواين خليتي البداية والنهاية مع ":" بينهما، ثم يُدخل القوس اليميني ")", وفق المبيّن في الشكل 7.1.

لا يمكن استعراض طريقة تسهيل استعمال التابع في هذا النص بتعليم الخلايا المرغوب فيها، لكن الإجراء هو إدخال "sum="، ثم ")", ثم تعليم الخلايا ثم إنهاء المعادلة ب")". لاحظ في الشكل 7.1 أيضاً أنه يمكن جمع الخلايا أفقياً وعمودياً. ويجري استعمال جميع التوابع بالطريقة نفسها.

ومن سمات وُريقات الجدولة الأخرى التوابع المنطقية، وهي عبارات من الشكل "IF" (تابع الشرط)، و "AND" (تابع القران)، و "FALSE" (تابع الخطأ)، و "NOT" (تابع النفي) و "OR" (تابع الجواز). إن التوابع المنطقية

مفيدة جداً لأنها يمكن أن تُستعمل لمقارنة قيم الخلايا المختلفة وربطها معاً. ويتضمن التابع "IF" عبارة منطقية لمقارنة قيم الخلايا وإعطاء جواب على شكل عدد أو كلمة. على سبيل المثال، يجب على طحّان الدقيق مراقبة نسبة الدقيق الناجم عن طحن القمح باستمرار. فانخفاض معدل الإنتاج يدل على وجود مشكلة. ويمكن استعمال التابع "IF" لقدر إظهار رسالة أو إنذار عندما تنخفض الإنتاجية عن المعدّل المطلوب، وفقاً للمبيّن في الشكل 8.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1			التاريخ					
2		10/10/04	10/11/04	10/12/04	10/13/04	10/14/04	10/15/04	10/16/04
3	وزن القمح	10562	11584	11698	10962	11532	11846	10624
4	وزن الدقيق	8215	10634	10692	10854	10237	10687	9634
5	الإنتاجية%	77.78	91.80	91.40	99.01	88.77	90.22	90.68
6		خطأ				خطأ		
7								

الشكل 8.1 ورقة جدول تستعمل التابع "IF".

استُعمل في هذا المثال التابع "IF" لجعل ورقة الجدول تُظهر الكلمة "خطأ" كلما كانت نسبة الإنتاجية المئوية للطحين أقل من 90%. والتابع الذي أُدخل في الخلية B6 هو: $=IF(B5 < 90, "Error", "")$. ثم نُسخَت هذه العبارة ووُضِعَت في الخلايا المتجاورة C2 حتى H2. إن ورّقات الجدولة مفيدة جداً وتوفّر كثيراً من المرونة في طريقة إعدادها. ومن خلال الدراسة والممارسة، يمكن للمستعمل أن يجعلها تُجري عمليات حسابية ومنطقية شديدة التعقيد.

1.2.6.3.1 المرجعية الثابتة أو الترابطية

في المثال 8.1، لم تكن الخلية "B5" ثابتة، لأن الناتج المطلوب هو استعمال

التابع نفسه لجمع الأعمدة من B حتى H. وهذا مثال لاستعمال المرجعية الترابطية. ويمكن للخلايا المرجعية أن تكون ثابتة أيضاً بحيث لا تتغير حين نسخ التابع. ومن أمثلة ذلك عندما يريد الطحان إعداد وُرَيْقة الجدولة بحيث يمكنه تغيير نسبة الإنتاجية من دون إعادة كتابة المعادلات. ويمكن تحقيق ذلك باستعمال خلية مرجعية ثابتة لنسبة الإنتاجية، وفق المبيّن في الشكل 9.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	الإنتاجية المطلوبة	85 %						
2				التاريخ				
3		10/10/04	10/11/04	10/12/04	10/13/04	10/14/04	10/15/04	10/16/04
4	وزن القمح	10562	11584	11698	10962	11532	11846	10624
5	وزن الدقيق	8215	10634	10692	10854	10237	10687	9634
6	الإنتاجية %	77.78	91.80	91.40	99.01	88.77	90.22	90.68
7		خطأ						
8								

الشكل 9.1 وُرَيْقة جدول تستعمل خلية مرجعية ثابتة.

يمكن للمستعمل في هذا المثال تغيير نسبة الإنتاجية التي تؤدي إلى ظهور رسالة خطأ وذلك بتغيير القيمة الموجودة في الخلية B1. ولتحقيق ذلك جرى تغيير التابع في الخلية B7 ونسخه في الخلايا المجاورة. إن التابع في الخلية B7 هو: " $=IF(B5 < \$B\$1, "Error", "")$ ", ووضع الحرف "\$" قبل عنواني عمود وسطر الخلية يُنْبَت هذين العنوانين بحيث لا يتغيران حين نسخ التابع في الخلايا المجاورة.

قدّمنا من خلال هذه الأمثلة مجرد لمحة عن معالجة البيانات التي يمكن تحقيقها باستعمال وُرَيْقات الجدولة التي لا يحدُّ من إمكانياتها سوى الوقت المتاح للمستعمل وبراعته في جعلها تتفدّ المهام المطلوبة منها.

3.6.3.1 المخططات البيانية

من سمات وُريقات الجدولة الفعالة والمفيدة الأخرى إمكان إنشاء مخططات بيانية للبيانات المُدخلة فيها. إن كثيراً من الناس يتعلم بالرؤية، ورؤية مخطط بياني للبيانات ينقل المعلومات إليهم على نحو أسرع وأسهل من دراستها في جداول. لكن إجراءات الرسم البياني في وُريقات الجدولة ليست قوية كتلك الموجودة في البرامج المتخصصة بالرسم البياني، ومع ذلك فإنها توفر خيارات كافية لاحتياجات المستعمل العادي.

يحتاج رسم مخطط بياني بواسطة وُريقة الجدولة إلى ما يحتاجه رسمه يدوياً تماماً. فالحاسوب يجب أن يعرف مجموعة البيانات التي سوف تُرسم إضافة إلى الإحداثيات على المحاور الثلاثة "X" و "Y" و "Z"، إذا كان المخطط ثلاثي الأبعاد. ويجب أن يوفرّ تابع الرسم (Chart) طريقة لكتابة تسميات على المخطط لمحاور الإحداثيات، مع اسمه والمصطلحات الخاصة بالبيانات وقيمها وفقاً للحاجة. ولتوضيح عمل تابع الرسم سوف نستعمل مسألة مساحية طبوغرافية شائعة. تُجمع في عملية المسح البيانات الضرورية لتعريف تضاريس سطح الأرض على طول مسار معين. ويُجرى ذلك عادة للمرافق العامة أو الأرصفة أو الطرقات أو الجدران الاستنادية. وفي هذا المثال، سوف نستعمل أنبوب صرف صحي تحت الأرض.

يحتوي الجدول 3.1 على بيانات مساحية. سوف نقدم مزيداً من المناقشة للبيانات المساحية في ما بعد في هذا الفصل، لكن للمساعدة على فهم المخطط البياني، تُمثّل الأعداد الموجودة في العمود STA بُعد كل محطة عن نقطة البداية، وتمثّل البيانات الموجودة في العمود ELEV منسوب كل محطة على طول مسار الأنبوب. وتُضمّ هذه المعلومات إلى ارتفاعات الأنبوب في كل

محطة وفقاً للمبين في الجدول 4.1 كي يمكن إظهار الخططين البيانيين لمناسيب المحطات والأنبوب على المخطط.

افترض أن عمق مخرج الأنبوب عند المحطة "0.0" يساوي 2 قدمين تحت الأرض، وأن ميل الأنبوب يساوي 1%. يُري الجدول 4.1 منسوب البداية ومنسوب السطح ومنسوب أنبوب الصرف عند كل محطة. ويتحدّد منسوب الأنبوب بوضع معادلة في الخلية C7 ونسخها في الخلايا حتى C14. أما المعادلة فهي: " $C7 \times \$B\$3/100 + \$C\6 ".

ويستطيع الشخص الخبير بالتصميم والبناء دراسة الجدول والإجابة عن أسئلة مهمة عن أنبوب الصرف الصحي، منها: "ما هو عمق الأنبوب الأعظمي؟"، أو "ما هو العمق الأصغري؟" وكثير من الأسئلة غيرهما. إلا أن أهمية هذه الأسئلة والإجابات عنها تصبح أسهل رؤية إذا رُسمت المعلومات على شكل مخطط بياني. ففي المخطط، من السهل رؤية فروق المناسيب بين السطح والأنبوب، وعمق الأنبوب.. إلخ. يُري الشكل 10.1 الخططين البيانيين لمناسيب المحطات وأنبوب الصرف الصحي في هذا المثال.

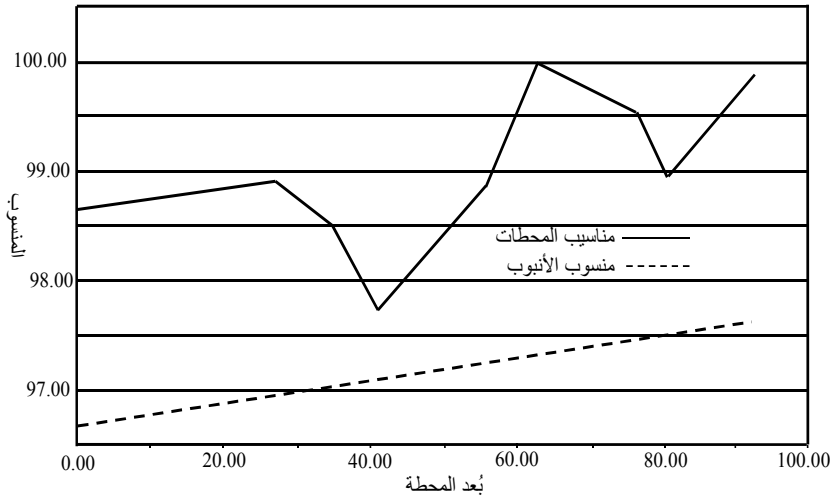
الجدول 3.1 بيانات مساحية.

STA	BS	HI	FS	IFS	ELEV
BM	3.56	103.56			100.00
0.0		103.56		4.89	98.67
27.3		103.56		4.67	98.89
35.6		103.56		5.10	98.46
41.2		103.56		5.89	97.67
56.9		103.56		4.68	98.88
63.4		103.56		3.61	99.95
75.9		103.56		4.01	99.95
80.7		103.56		4.65	98.91
93.5	4.04	103.92	3.68		99.88
BM			3.91		100.01
Sum	7.60		7.59		
Difference		0.01		0.01	
		0.01 = 0.01			
	AE=	0.02		.01 < .02	

الجدول 4.1 بيانات مناسيب المحطات

	A	B	C
1	منسوب البداية الميل %	96.67 قدم 1%	منسوب الأنبوب
2			
3			
4	بُعد المحطة	منسوب المحطة	منسوب الأنبوب
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

يُبين الشكل 10.1 أن العمق الأعظمي للأنبوب يحصل عند المحطة 62، وأن الفرق بين منسوب السطح (أي منسوب المحطة) ومنسوب الأنبوب هناك يساوي نحو: 97.4 – 100.0 ، أي 2.6 قدمين. ويحصل العمق الأصغري للأنبوب عند المحطة 40، ويساوي الفرق هناك بين منسوب السطح ومنسوب الأنبوب: 97.1 – 97.6 ، أي 0.5 قدم. ويمكن لهذا أن يُمثّل مشكلة لأن عمق الأنبوب يساوي 6 إنشات فقط، ولذا يمكن أن ينكسر بسهولة، وفي أثناء الطقس البارد، يمكن أن تحصل فيه مشكلات تجمد.



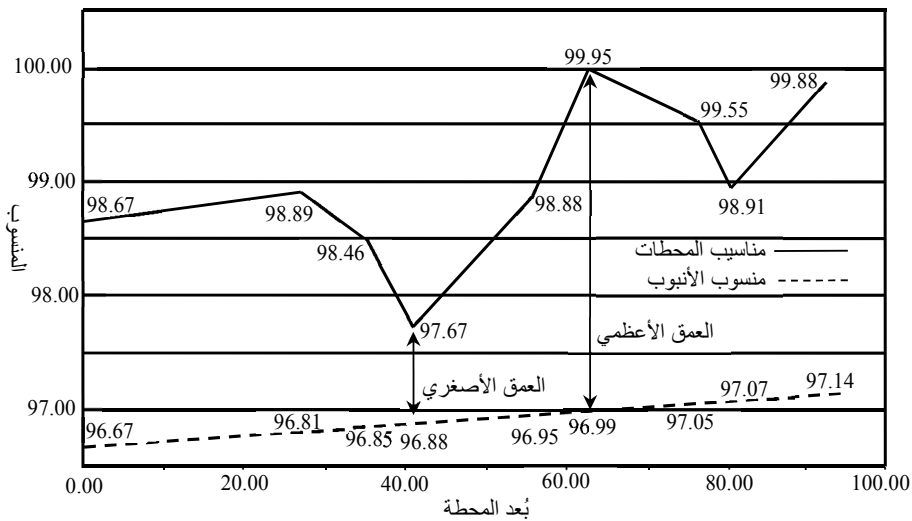
الشكل 10.1 المخطط البياني لمناسيب المحطات وأنبوب الصرف الصحي.

ويمكن استعراض فعالية وُريقات الجدولة وفائدتها من خلال هذا المثال. أُعطي ميل أنبوب الصرف الصحي في الجدول 4.1 في خلية واحدة، واستُعمل في المعادلات على أساس مرجعية ثابتة. ويسهّل هذا الإجراء طرح أسئلة من

مثل "ماذا يحصل لو جرى تغيير الميل إلى 0.5%". والنتائج مبينة في الجدول 5.1 والشكل 11.1.

الجدول 5.1 بيانات منسوب الأنبوب عندما يساوي الميل 0.5%.

	A	B	C
1			
2	منسوب البداية		
3	الميل %	96.67 قدم	
4		0.5%	
5	بُعد المحطة	منسوب المحطة	منسوب الأنبوب
6	0.0	98.67	96.67
7	27.3	98.89	96.81
8	35.6	98.46	96.85
9	41.2	97.67	96.88
10	56.9	98.88	96.95
11	63.4	99.95	96.99
12	75.9	99.55	97.05
13	80.7	98.91	97.07
14	93.5	99.88	97.14



الشكل 11.1 أنبوب الصرف الصحي مع ميل يساوي 5%

لاحظ أنه قد أظهرت قيم جميع النقاط في هذا المخطط البياني. وهذه سمة مشتركة بين المخططات البيانية في ورقات الجدولة. وهي تبين أن العمق الأعظمي لأنبوب الصرف الصحي قد تغير في حالة الميل الذي يساوي 0.5% إلى 96.99-99.95، أي إلى 2.96 قدمين. وتغير العمق الأصغري إلى 96.85-97.67، أي إلى 0.82 قدم. وقد تحققت الإجابة عن السؤال "ماذا يحصل لو...؟" بتغيير قيمة واحدة في ورقة الجدولة.

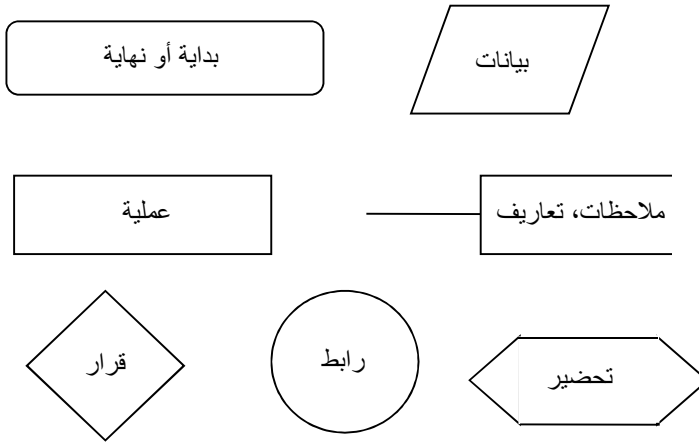
ويمكن لورقات الجدولة أن تُنفذ حسابات ورسم مخططات بيانية أكثر تعقيداً. ويضاف إلى ذلك أنه يمكن باستعمالها تحديد مفاتيح ساخنة على لوحة المفاتيح لأتمتة الإجراءات الكثيرة التكرار التي تتطلب نقرات متعددة على المفاتيح. ومن بعض سماتها الأخرى إمكان البرمجة باستعمال لغة بيزيك المرئية. وتوفر هذه السمة أدوات للمستعمل لكتابة برامج وتداول للبيانات ببعض الطرائق الخاصة. لا تتضمن هذه المناقشة وصفاً لكل إمكانات ورقات الجدولة وخصائصها، إلا أنها تمثل محاولة لشرح عملياتها الأساسية ولعرض إمكاناتها المفيدة. ويعود إلى القارئ استقصاء إمكاناتها بعمق أكبر.

7.3.1 مخططات الجريان

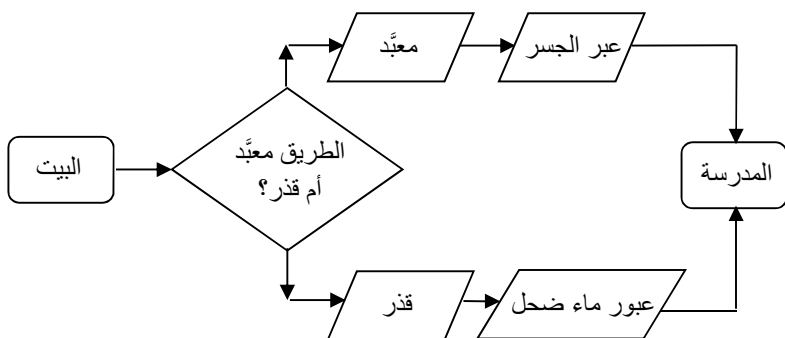
تُستعمل مخططات الجريان (Flow Charts) لإظهار العلاقات بين الأجزاء أو الخطوات المختلفة لعملية ما بيانياً. ومن أمثلة ذلك سلسلة الأوامر في مؤسسة، والخطوات والبدائل في عملية تصنيع. وتُستعمل في هذه المخططات رموز بيانية مختلفة لتمثيل الإجراءات المختلفة، مع خطوط وأسهم لبيان اتجاه الجريان. ويعكس تعقيد مخطط الجريان تعقيد العملية التي يجري رسم المخطط لها. ويمكن تصنيف مخططات الجريان تبعاً لأنواعها. والأنواع الشائعة هي المخططات التسلسلية، والحلقية، والتفرعية بناء على اتخاذ قرارات، والمركبة.

وتمثل رموز مخططات الجريان نقاطاً مختلفة ضمن العملية. ويمكن لتخصّص أو شركة ما استعمال رموز تبعاً للحاجة، إلا أن ثمة رموزاً عدة شائعة أصبحت معتمدة من قبل مستعملي مخططات الجريان. ويُرى الشكل 12.1 ستة منها.

وإضافة إلى الرموز المختلفة التي تمثل إجراءات مختلفة، يمكن استعمال أنواع مختلفة من الخطوط لتمثيل العلاقة بين الخطوات أو الرموز المختلفة في العملية. ويُرى الشكل 13.1 مثلاً للبدائل والعمليات التي يمكن القيام بها للذهاب من البيت إلى المدرسة.



الشكل 12.1 رموز شائعة في مخططات الجريان.



الشكل 13.1 مثال لمخطط جريان.

2.

الأرقام ذات الدلالة والصيغ القياسية

1.2 الأهداف

1. التمكن من تعريف الدقة والضبط والارتياح حين استعمال الأعداد.
2. فهم الفرق بين الأعداد الدقيقة والأعداد التقريبية.
3. التمكن من تحديد عدد الأرقام ذات الدلالة.
4. فهم تقنية تدوير الأعداد.
5. فهم استعمال الرمزية العلمية.

2.2 تقديم

ليس ثمة من بديل للفهم الجيد للأعداد والعمليات الرياضية في حل مسائل الزراعة الحديثة. وفي هذا الفصل، سوف نناقش خواصاً عدة للأعداد والتقنيات المستعملة فيها.

3.2 الدقة والضبط والارتياح

من الضروري فهم ثلاث خواص من خواص الأعداد في حل المسائل الزراعية: الدقة والضبط والارتياح. تدل الدقة على مقدار الجزء من وحدة

القياس المستعمل للحصول على العدد. على سبيل المثال، إذا وُزن كيس من العلف بواسطة ميزان يعطي قيمة الوزن بأقرب 0.1 ليبرة، فإن الوزن لا يكون دقيقاً كدقة الوزن الذي يَنْتُج إذا كانت نتيجة القياس أقرب إلى 0.01 ليبرة.

أما ضبط العدد فيدل على المراتب العشرية التي تظهر في الجواب. وكلما كان عدد تلك الأرقام أكبر، كان الضبط أكبر. فنتيجة القياس التي تساوي 12.15 قدماً أكثر ضبطاً من النتيجة المساوية لـ 14.4 قدماً.

أما ترتيب العدد فهو الجزء منه الذي يُتَوَقَّع تغيُّره. وإذا لم يكن الترتيب منصوباً عليه بعد العدد، أي لم يُكتب العدد بالصيغة 14.5 ± 0.01 ، أمكنك الافتراض أن الترتيب يساوي نصف أصغر وحدة قياس. انظر الجدول 1.2.

الجدول 1.2 مستويات الترتيب

العدد	الترتيب
25	± 0.5
15.7	± 0.05
2.567	± 0.0005

المصدر: *Theory and Problems of Technical Mathematics*, Schaum's Outline Series, McGraw-Hill Book Company, New York, 1979.

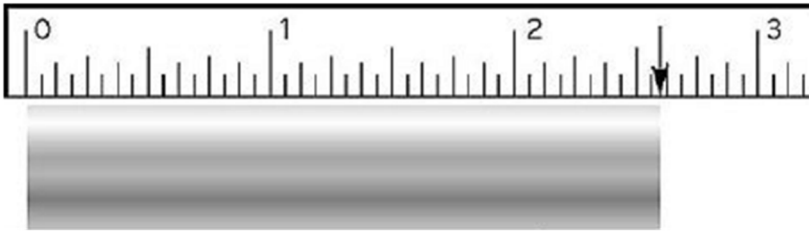
4.2 الأعداد الدقيقة والأعداد التقريبية

يُستعمل في مسائل الزراعة نوعان من الأعداد هما الأعداد الدقيقة والأعداد التقريبية. وأكثر أمثلة الأعداد الدقيقة شيوعاً هي تلك التي تنتج من العد والنسب. مثلاً، إذا عددت الأحصنة الموجودة في حظيرة ووجدت أن عددها يساوي 10، كان لديك 10 أحصنة تماماً، لا عشرة ونصف ولا تسعة وثلاثة أرباع. والنسب هي أعداد دقيقة أيضاً، لأن $3/4$ من الدائرة يساوي $3/4$ تماماً.

من الدائرة. إلا أن ما يجب الانتباه إليه في النسب التي يُعبر عنها باستعمال الفاصلة العشرية التي من مثل $2/3 = 0.6666666$ ، هو أن هذا العدد هو عدد تقريبي لأن بعض النسب التي يُعبر عنها عشرياً تحتوي على أرقام لانهائية التكرار.

كل الأعداد التي تتجم عن قياسات هي أعداد تقريبية. والقيمة الحقيقية التي يعبر عنها عدد تقريبي تتطوي على ترتيبات لأن أدوات القياس محدودة الدقة. إذا كانت لديك مسطرة مدرجة بتقسيمات $1/16$ من الإنش، كانت المسطرة دقيقة حتى أقرب $1/16$ من الإنش فقط. وبيّن المثال التالي هذه النقطة.

إن طول المستطيل في الشكل 1.2 ليس متحاذياً مع أي من علامات المسطرة، لذا عليك تسجيل طول الصندوق حتى آخر أقصر علامة، أي $9/16 : 2$ إنش، أو حتى أقرب أكبر علامة، أي $5/8 : 2$ إنش. وبصرف النظر عن القيمة التي تختارها، فإن الجواب الذي تسجله قريب من الطول الحقيقي فقط، أي إنه عدد تقريبي. وإذا كان المطلوب هو تقليص مقدار الارتياح في القياس، وجب استعمال مسطرة ذات دقة أكبر، كأن تكون مدرجة بـ $1/32$ من الإنش مثلاً.



الشكل 1.2 مثال لعدد تقريبي.

وحين استعمال أعداد تقريبية، تُستعمل أرقام ليست دقيقة (ذات دلالة) في

المسألة. وإذا ضُمَّنت تلك الأرقام في المسألة، أمكن ضبطَ الجواب أن ينخفض مع كل عملية حساب. ويُصبح احتمال الخطأ كبيراً إذا استُعملت حاسبة، لأن معظم الحاسبات تُظهر ثمانية أو تسعة أرقام، بقطع النظر عن أهميتها للمسألة. ومهمة مستعمل الآلة الحاسبة هي تحديد عدد الأرقام ذات الدلالة وتدوير العدد تبعاً لذلك. في المقطع التالي ثمة مناقشة أكثر تفصيلاً للأرقام ذات الدلالة.

5.2 الأرقام ذات الدلالة

إن مبدأ الأرقام ذات الدلالة مهم لأنه يجب ألاّ تزداد دقة العدد بالحسابات الرياضية. فالآلات الحاسبة تُظهر عادة من 7 إلى 14 مرتبة عشرية على الشاشة وفي الذاكرة برغم كون دقة القياسات محدودة برقمين أو ثلاثة أرقام فقط. لذا من الضروري تحديد عدد الأرقام التي يجب أن تبقى في العدد بعد العملية الحسابية. والقواعد التي تُستعمل لتحديد الأرقام ذات الدلالة في الأعداد الدقيقة تختلف عن تلك المستعملة للغرض نفسه في الأعداد التقريبية.

ونظراً إلى عدم وجود ترتيب في الأعداد الدقيقة، تُعتبر جميع الأرقام ذات دلالة. وحين تدوير الأجوبة الناجمة عن أرقام دقيقة، نفترض أن لها العدد نفسه للأرقام ذات الدلالة الموجود في العدد الدقيق الأكبر.

أما تحديد الأرقام ذات الدلالة في الأعداد التقريبية فهو أكثر تعقيداً. والقضية الأولى في ذلك هي دلالة الأصفار. من المعتاد اعتبار الصفر مهماً إذا كان موجوداً بين رقم آخر والفاصلة العشرية أو إلى يمين الفاصلة العشرية. على سبيل المثال، يتضمن العددان 540.2 و 540.0 أربعة أرقام ذات دلالة. ولا يُعتبر الصفر ذا دلالة إن كان إلى يسار الفاصلة العشرية. فمثلاً، يحتوي العدد 0.325 على ثلاثة أرقام ذات دلالة، أما العدد 0.0325 فيحتوي على أربعة

أرقام ذات دلالة. ولا يُعتبر الصفر ذا دلالة عندما يكون آخر رقم وليس ثمة من فاصلة عشرية. فعلى سبيل المثال، يوجد في العدد 540 رقمان ذوا دلالة. وتُستثنى من هذه القاعدة نتيجة التدوير التي تساوي الصفر. فالعدد 459.8 يُدَوَّر إلى عدد 460 يحتوي على ثلاثة أرقام ذات دلالة. وفي هذه الحالة، يُعتبر الصفر ذا دلالة. وتظهر المشكلة عندما لا يعرف المرء إن كان الصفر ناجماً عن التدوير، ولذا تكون دلالة الصفر ملتبسة.

ويعتمد عدد الأرقام ذات الدلالة في الأعداد التقريبية على دقة جهاز القياس. إذا علمت أن وزن عجل مخصي يساوي 551 ليبرة، وأن الميزان يُعطي الوزن بدقة 0.1 ليبرة، كان الوزن الفعلي أقل من 551.1 ليبرة وأكثر من 550.9 ليبرة، وجرى تسجيله على أنه يساوي 551 ليبرة. أي إن العدد يتضمَّن أربعة أرقام ذات دلالة. إن الأصح هو أنه إذا كان وزن العجل يساوي 551 ليبرة فعلاً، وجبت كتابة العدد بالشكل 551.0.

وعندما تكون دقة أداة القياس غير معروفة، يكون تحديد الأرقام ذات الدلالة أكثر صعوبة. والتصرف الشائع في تلك الحالات هو افتراض أن الدقة تساوي \pm نصف أصغر وحدة في العدد. على سبيل المثال، المسافة 347 قدماً يمكن أن تتضمن أربعة أرقام ذات دلالة لأن نتيجة القياس يمكن أن تكون بين 347.4 و 346.6 قدماً، وجرى تسجيلها بالصيغة 347 قدماً.

مسألة: أنت تساعد على وزن عجل على ميزان يزن بدقة 0.5 ليبرة. وأعلمت أن وزن العجل هو 102 ليبرة. فما هو عدد الأرقام ذات الدلالة في وزن العجل؟

الحل: يساوي عدد الأرقام ذات الدلالة 4. فالميزان يمكن أن يُعطي النتائج 101.5 أو 102.0 أو 102.5 ليبرة. وإذا كان مؤشر الميزان بين 101.5 و 102.0، لكن أقرب إلى 102.0، كان الوزن الذي يجري تسجيله 102.0 ليبرة. وعلى نحو مشابه، إذا كان المؤشر بين 102.0 و 102.5، لكن أقرب إلى 102.0، كان الوزن المسجل 102.0 ليبرة. وإذا كان الوزن 102 ليبرة تماماً، وجب تسجيل الوزن بالشكل 102.0 ليبرة. لذا يكون للوزن أربعة أرقام ذات دلالة.

انظر في الحالة التالية:

مسألة: ما مقدار مساحة غرفة (مقدرة بالقدم المربع) إذا كان عرضها 12 قدماً و 3 إنشات، وكان طولها 22 قدماً و $\frac{3}{16}$ من الإنش؟

الحل: الخطوة الأولى هي تحويل البعدين إلى صيغة عشرية: $12 \text{ ft } 3 \text{ in} = 12.25 \text{ ft}$ ، و $22 \text{ ft } \frac{3}{16} \text{ in} = 22.1875 \text{ ft}$. وبإجراء الضرب نحصل على القيمة 271.79687 ft^2 . فما عدد الأرقام ذات الدلالة في هذا الجواب؟

لقد وُضعت قاعدتان للمساعدة على تحديد عدد الأرقام ذات الدلالة في العمليات الحسابية:

- في الجمع والطرح: يجب تدوير الجواب إلى عدد المنازل العشرية في العدد الأقل دقة.
- في الضرب والقسمة: يجب تدوير الجواب إلى عدد الأرقام ذات الدلالة في العدد الأقل ضبطاً.

وفي هذه المسألة، تنطبق القاعدة الثانية. يُقلَّص ناتج الضرب 271.79687

إلى أربعة أرقام ذات دلالة. وبذلك تكون مساحة الغرفة الصحيحة 271.8 ft^2 .

مسألة: أنت تريد أن تعرف طول محيط الغرفة لتحسب مقدار الدهان اللازم لطلاء الجدران. يساوي بُعداً أرضية الغرفة 12.25 قدماً و 22.1875 قدماً.

الحل: يساوي طول المحيط في هذه الحالة مجموع أطوال جدران الغرفة الأربعة، أي:

$$P = 12.25 + 12.25 + 22.1875 + 22.1875$$

وتنطبق على هذه المسألة القاعدة الثانية. يُقْلَص المجموع 68.875 إلى عدد ذي أربعة أرقام ذات دلالة، فتكون النتيجة 68.88 قدماً.

6.2 تدوير الأعداد

يُستعمل التدوير لحذف الأرقام غير ذات الدلالة. وعندما تكون الأرقام التي سوف تُحذف إلى يسار الفاصلة العشرية، توضع في أمكنة تلك الأرقام أصفار. على سبيل المثال، إذا رغبت في تقليص مساحة الإيكر، التي تساوي 43,560 قدماً، إلى عدد ذي رقمين ذوي دلالة، دور ذلك العدد إلى 44,000 قدم. حينما يكون الرقم الذي يُحذف أكبر من 5، أضف 1 إلى الرقم الباقي التالي. وعندما يكون ذلك الرقم أصغر من 5، لا يتغيّر الرقم الباقي التالي. وعندما يساوي 5 تماماً، اجعل الرقم التالي المتبقي زوجياً. وإذا كان الرقم المتبقي فردياً، أضف إليه 1، وإذا كان زوجياً، اتركه على حاله. على سبيل المثال، يُدَوَّر العدد 43,560 إلى عدد ذي رقم واحد ذي دلالة هو 40,000، وإلى عدد ذي رقمين ذوي دلالة هو 44,000، وإلى عدد ذي ثلاثة أرقام ذات دلالة هو 43,600.

7.2 العبارات العلمية والصيغ القياسية

جرى تطوير العبارات العلمية والصيغ القياسية بغية التعبير عن الأعداد الكبيرة أو الصغيرة بطريقة سهلة. وتُستعمل في كليهما قوى العشرة للحلول محل الأرقام العديمة الدلالة في الأعداد الكبيرة أو الصغيرة. ويُستعمل في الصيغ القياسية رقم تتبعه فاصلة عشرية ورقمان ذوا دلالة. وقد استُعملت تلك الصيغة في المساطر الحاسبة لأن ثلاثة أرقام ذات دلالة كانت الحد العملي. وتُستعمل في التعابير العلمية الصيغة نفسها أيضاً. أما الفرق فهو أن عدد الأرقام ذات الدلالة في التعبير العلمي ليس محدوداً بثلاثة. على سبيل المثال، إذا وُجد في العدد 1,000,000 رقم واحد ذو دلالة، كُتِب بالصيغة 1.0×10^6 . ويُقرأ هذا العدد بالشكل التالي: واحد فاصلة صفر ضرب 10 أس 6. ويُعبّر عن العدد 43,560,000 بالتعبير العلمي في حالة أربعة أرقام ذات دلالة بالشكل: 4.356×10^7 . لاستعمال التعبير العلمي، عليك أن تفهم قوى الأعداد وكيفية تداولها في أثناء العمليات الحسابية.

سوف نراجع قوى العشرة أولاً:

$$10^0 = 1$$

$$10^1 = 10 \quad 10^{-1} = 0.1 \text{ or } \frac{1}{10}$$

$$10^2 = 100 \quad 10^{-2} = 0.01 \text{ or } \frac{1}{100}$$

$$10^3 = 1000 \quad 10^{-3} = 0.001 \text{ or } \frac{1}{1000}$$

$$10^4 = 10,000 \quad 10^{-4} = 0.0001 \text{ or } \frac{1}{10,000}$$

وثمة قواعد عدة مفيدة حين العمل بقوة العشرة:

- حين نقل العدد عشرة مع أسه من مقام كسر على بسطه، أو من بسطه إلى مقامه، تُغيّر إشارة الأس. أي:

$$\frac{1}{10^{-3}} = \frac{10^3}{1} \text{ and } \frac{10^{-4}}{1} = \frac{1}{10^4}$$

- حين ضرب عددين مكتوبين بالصيغة القياسية، أو أكثر، تُجمع الأساس. أي:

$$10^3 \times 10^5 = 10^{(3+5)} = 10^8$$

$$10^5 \times 10^{-2} = 10^{(5+(-2))} = 10^3$$

$$10^{-4} \times 10^{-3} \times 10^4 = 10^{((-4)+(-3)+4)} = 10^{-3}$$

يجب الانتباه إلى أن ثمة طرائق مختلفة للتعبير العلمي، وفي إحداها يُستعاض عن العشرة والأس بـ "E" وقيمة الأس:

$$4.0E3 \times 5.0E5 = 20E^{3+5} = 20.0 E8$$

وثمة طريقة أخرى تقلّل من اللبس الناجم عن استعمال الإشارة "×" لتمثيل كل من ضرب الأرقام والضرب بقوة العشرة، وذلك بالاستعاضة عن "×" في الضرب بقوة العشرة بـ "·".

$$4.0 \cdot 10^3 \times 5.0 \cdot 10^5 = 20 \cdot 10^{3+5} = 20 \cdot 10^8$$

وثمة طرائق أخرى أيضاً.

- حين تقسيم أعداد بالصيغة القياسية، يجري طرح الأساس:

$$\frac{10^4}{10^3} = 10^1 \text{ or } 10$$

$$\frac{4 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^2} = 2 \cdot 10^2$$

$$\frac{10^{-4}}{10^2} = 10^{-6} \quad \frac{4 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^2} = 2 \cdot 10^{-6}$$

- حين جمع أو طرح أعداد عدة مكتوبة بالصيغة القياسية، يجب تحويلها إلى قوة العشرة نفسها ، ولا تتأثر قوة العشرة في أثناء الجمع أو الطرح:

$$4 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^3 \rightarrow 40 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^3 = 37 \cdot 10^3 \\ = 3.7 \cdot 10^4$$

$$4 \cdot 10^4 + 3 \cdot 10^3 \rightarrow 40 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^3 = 43 \cdot 10^3 \\ = 4.3 \cdot 10^4$$

3.

وحدات القياس الشائعة

1.3 الأهداف

1. التمكن من شرح أنواع وحدات القياس الشائعة المختلفة.
2. التمكن من تحويل وحدة قياس إلى أخرى.
3. التمكن من استعمال الوحدات المقترنة بكل قياس.
4. التمكن من حساب الاستطاعة (مقاسة باستطاعة الحصان البخاري).
5. التمكن من شرح منظومة القياس الدولية المترية.
6. التمكن من شرح الفروق بين الوزن والقوة والكتلة.

2.3 تقديم

تحتاج جميع القياسات إلى وحدات لتعريف دقة القياس. وتعتمد الوحدة المفضلة على القيمة العظمى للمتغير المُقاس. على سبيل المثال، في المنظومة العادية الشائعة في الولايات المتحدة، يُفضّل الميل لقياس المسافات الطويلة. وفي حالة المسافات القصيرة جداً يمكن لوحدة القياس أن تكون واحداً بالمئة من الإنش (0.01 إنش) أو كسور الإنش ($3/64$ من الإنش مثلاً). ووحدات القياس الشائعة الاستعمال في الزراعة هي:

- | | |
|---------------------------|---------------|
| 1. المسافة | 6. الضغط |
| 2. المساحة | 7. الزمن |
| 3. درجة الحرارة | 8. السرعة |
| 4. الحجم | 9. العزم |
| 5. الوزن (الثقل) أو القوة | 10. الاستطاعة |

3.3 منظومات وحدات القياس

نتعامل في الزراعة الحديثة مع منظومتين من وحدات القياس، المنظومة العادية الأميركية (وتسمى أحياناً المنظومة الإنكليزية أو الوزنية) والمنظومة المترية الدولية SI. وسوف نناقش كلتا المنظومتين في هذا الفصل.

لقد ضاعت، عبر التاريخ، أصول كثير من وحدات القياس في المنظومة العادية الأميركية. إلا أن مسؤولية خزن وحفظ مقاييس جميع وحدات القياس تقع على عاتق قسم الموازين والمكاييل التابع للهيئة الوطنية (الأميركية) للمعايرة والتقانة. فلدیه توجد معايير القدم والياردة والباوند... إلخ. وتقوم جميع تجهيزات القياس المستعملة في الولايات المتحدة على واحد من هذه المعايير.

1.3.3 المسافة

للمسافة معنيان هما الانتقال والطول. والانتقال هو التحرك من نقطة إلى أخرى. إذا مشيت ميلاً واحداً، تكون قد انتقلت مسافة تساوي 5280 قدماً. أما الطول فيعني المقياس المادي للشيء. فمثلاً، طول قطعة الورق ذات المقاس A وعرضها يساويان 8.5 و 11 إنشاً (الطول والعرض كلاهما مسافة). والوحدات الشائعة للمسافة هي الإنش (in) والقدم (ft) والياردة (yd) والميل (mi).

2.3.3 المساحة

تُعرّف وحدة مساحة سطح ما بأنها عدد الوحدات المربعة المساوية لذلك السطح. ووحدات المساحة الشائعة هي وحدات المسافة مربعة: in^2 و ft^2 و mi^2 ...إلخ. وتُستعمل في الزراعة وحدة الإيكر (ac) للأراضي الواسعة المساحة. ويساوي الإيكر 43,560 قدماً مربعاً.

3.3.3 درجة الحرارة

درجة الحرارة هي درجة سخونة أو برودة الشيء. وثمة خمسة سلاسل مختلفة من الوحدات المستعملة لدرجة الحرارة. والوحدة الشائعة في الولايات المتحدة هي الفهرنهايت.

4.3.3 الحجم

يُعرّف الحجم بأنه مقدار الحيز الذي يشغله جسم ثلاثي الأبعاد. وأساس الحجم هو مسافة مكعبة: in^3 و ft^3 ... إلخ. وفي منظومة الأوزان والمكاييل العادية الأميركية، تُستعمل وحدات حجم أخرى، منها الغالون وربع الغالون والباينت والكوب. وقد وضع مكتب الأوزان والمكاييل الأميركي معايير لكل من هذه الوحدات بدلالة مكعب المسافة. على سبيل المثال، ثمة 231 إنشاً مكعباً في الغالون السائل الواحد. انظر الملحق 1.

5.3.3 الوزن

يمكن لتعريف الوزن بأنه مفعول قوة الثقالة في الجسم. ووحدات الوزن الشائعة هي الأونصة والليبرة (الباوند) والطن.

6.3.3 القوة

القوة هي ذلك المفعول الذي يؤدي إلى تحريك الشيء أو إلى تغيير حركته. ولوصف القوة وصفاً كاملاً، تجب معرفة اتجاه تأثيرها وشدتها (مطالها) ونقطة تطبيقها. وما يُسمّى عادة بـ "القوة" هو في الواقع قوتان، لأن القوة لا توجد منفردة البتة، بل توجد دائماً على شكل أزواج. ويسمى الجزءان الفعل ورد الفعل، وهما متساويان دائماً بالمطال ومتعاكسان بالاتجاه. وفي هذا الكتاب، سوف نعتبر وزن الشيء قوة. ويُعبّر عن القوى عادة بوحدات من مثل الأونصة والليبرة والطن.

7.3.3 الضغط

الضغط هو مقدار القوة المطبّقة على مساحة معينة. ووحدة الضغط هي تركيب من وحدتين، وحدة القوة ووحدة المساحة. لذا فإن الوحدات الشائعة للضغط هي ليبرة على إنش مربع، وأونصة على إنش مربع، وليبرة على قدم مربع... إلخ.

8.3.3 الزمن

يتجذّر مفهوم الزمن في دورات الأرض الطبيعية. ومن الدورات الواضحة جداً ظاهرة المد والجزر في البحار. وتأتي الكلمتان الإنكليزيتان Time، أي الوقت، وTide، أي المد والجزر من الجذر نفسه. أما فكرة الوقت الحالية فهي تعبير عن المدة الزمنية. ويمكن وصف الزمن على نحو أفضل باعتباره تقنية حسابية للربط في ما بين الأحداث. أما وحدات الزمن الشائعة فهي الثانية والدقيقة والساعة.

9.3.3 السرعة

السرعة هي المعدل الزمني للحركة. ووحدة السرعة هي وحدة مركبة من وحدتي المسافة والزمن. ومن وحدات السرعة الشائعة القدم في الدقيقة والميل في الساعة.

10.3.3 الاستطاعة

الاستطاعة هي معدل إنجاز العمل. وينتج العمل (W) من استمرار فعل القوة (F) مسافة (D)، ومعادلته هي:

$$W = D \times F$$

ويمكن الحصول على قيمة عددية للعمل بضرب قيمة القوة بمقدار الانتقال.

مسألة: إذا استمر فعل قوة مقدارها 100.0 ليبرة مسافة 12.0 قدماً، فما مقدار العمل الذي تُنجزه؟

الحل:

$$\begin{aligned} W &= D \times F \\ &= 12.0 \text{ ft} \times 100.0 \text{ lb} \\ &= 1,200.0 \text{ ft} \cdot \text{lb} \end{aligned}$$

أُنجز في هذه الحالة عمل مقداره 12,00.0 ft · lb. لاحظ في هذا التعريف أنه إذا لم يكن ثمة قوة أو مسافة فعل، فإنه ليس ثمة من عمل يُنجز.

مسألة: شاحنة محمّلة وتزن 10,000 ليبرة تتطلب قوة تساوي 400.0 ليبرة لجَرّها على سطح أفقي. فما مقدار العمل الذي يُنجز حين تحريكها مسافة 100.0 قدم؟

الحل:

$$\begin{aligned} W &= D \times F \\ &= 100.0 \text{ ft} \times 400.0 \text{ lb} \\ &= 40,000.0 \text{ ft. lb} \end{aligned}$$

في هذه المسألة، لم تُنسب القوة التي تساوي 400.0 ليبرة إلى الشاحنة. بل هي القوة اللازمة لجرها.

وتُعطى الاستطاعة بالمعادلة: الاستطاعة = العمل ÷ الزمن. أي:

$$P = \frac{W}{T} = \frac{D \times F}{T} = F \times \frac{D}{T}$$

ونظراً إلى أن D/T هي السرعة، فإن الاستطاعة تساوي القوة مضروبة بالسرعة. وهذا يبيّن أن الاستطاعة هي تركيب من المسافة والقوة والزمن.

مسألة: ما مقدار الاستطاعة الناجمة عن قوة مقدارها 100.0 ليبرة استمر فعلها مسافة 12.0 قدماً خلال دقيقتين؟

الحل:

$$\begin{aligned} P &= \frac{D \times F}{T} = \frac{12.0 \text{ ft} \times 100.0 \text{ lb}}{2.0 \text{ min}} = \frac{1200.0 \text{ ft} \cdot \text{lb}}{2.0 \text{ min}} \\ &= 600.0 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{min}} \end{aligned}$$

لاحظ أن وحدة الاستطاعة هي تركيب من وحدات المتغيّرات الداخلة فيها. وفي هذه الحالة، الجواب هو "600.0 قدم.ليبرة في الدقيقة". وهذا هو المعدّل الزمني الذي يُنجز به العمل. تذكّر أن تكتب وحدات المتغيّرات مع الأعداد دائماً.

مسألة: يُحمّل شخص رزمة وزنها 60.0 ليبرة على عربة يقطرها جرّار ارتفاعها 4.0 أقدام خلال 0.50 دقيقة. ما مقدار الاستطاعة الناجمة؟

الحل:

$$P = \frac{D \times F}{T} = \frac{4.0 \text{ ft} \times 60.0 \text{ lb}}{0.50 \text{ min}} = \frac{240.0 \text{ ft} \cdot \text{lb}}{0.50 \text{ min}} = 480 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{min}}$$

استعملنا حتى الآن قيماً سهلة الاستيعاب مع وحدة القدم للمسافة والليبرة للقوة والدقيقة للزمن. افترض أن الشخص استطاع في المسألة السابقة تحميل ثلاث رزم وزن كل منها يساوي 60.0 ليبرة خلال 0.50 دقيقة. في هذه الحالة من الممكن الوقوع في الخطأ في تحديد قيمة القوة. وحل المسألة هو:

$$P = \frac{D \times F}{T} = \frac{4.0 \text{ ft} \times \frac{3 \text{ bales}}{1} \times \frac{60.0 \text{ lb}}{\text{bale}}}{0.50 \text{ min}} = \frac{720 \text{ ft} \cdot \text{lb}}{0.50 \text{ min}} = 1,440 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{min}}$$

تساوي الاستطاعة الوسطى الناجمة في هذه الحالة 1,440 قدم. ليبرة في الدقيقة لأن الثقل الذي انتقل خلال 0.50 دقيقة هو وزن ثلاث رزم (3 bale × 60 lb).

توضّح هذه المسألة مبدأ الاستطاعة. إذا أنجز ثلاثة أضعاف العمل خلال المدة عينها، تضاعفت الاستطاعة ثلاث مرات. لكن ما هو مفعول تغيير المسافة أو المدة في الاستطاعة؟

مسألة: إذ حمّل شخص ثلاث رزم وزن كل منها يساوي 60.0 ليبرة على عربة يقطرها جرّار ارتفاعها 4.0 قدم خلال 10.0 ثوان بدل 0.5 دقيقة، فكيف يؤثر ذلك في الاستطاعة الناجمة؟

الحل:

$$P = \frac{D \times F}{T} = \frac{4.0 \text{ ft} \times 180.0 \text{ lb}}{10.0 \text{ sec}} = 720 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{10.0 \text{ sec}} = 72 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{sec}}$$

لقد تغيّر مقدار الاستطاعة، إلا أنه من غير الممكن مقارنة هذا الجواب بالجواب السابق بسبب اختلاف الوحدات. وقد تتساءل: هل الوحدة قدم.ليبيرة في الثانية وحدة مقبولة للاستطاعة؟ نعم، لكن كي تقارن قيمة الاستطاعة هذه بالقيمة السابقة، يجب تحويل الوحدات. ويمكن تحقيق ذلك بأكثر من طريقة. عندما تكون الوحدة المرغوب فيها $\text{ft} \cdot \text{lb}/\text{min}$ ، ثُمّن إضافة قيمة تحويل إلى المعادلة. في المعادلة التالية نغيّر وحدة الزمن من ثانية إلى دقيقة:

$$\begin{aligned} P &= \frac{4.0 \text{ ft} \times 180.0 \text{ lb}}{10.0 \text{ sec} \times \frac{1 \text{ min}}{60.0 \text{ sec}}} = \frac{720 \text{ ft} \cdot \text{lb}}{0.166 \dots \text{min}} \\ &= 4,320 \text{ or } 4,300 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{min}} \end{aligned}$$

من الممكن الآن مقارنة القيمتين. ومن الواضح أنه يجب بذل مقدار أكبر من الاستطاعة لإنجاز مقدار العمل نفسه في مدة أقل. وتطبق علاقة مشابهة حينما تتغيّر المسافة المقطوعة. فمتطلبات الاستطاعة تتغيّر مع تغيّر المسافة المقطوعة بافتراض بقاء القوة والمدة دون تغيير.

باختصار، تتناسب الاستطاعة خطياً مع القوة والمسافة، وعكسياً مع المدة.

وحيث العمل بالآلات الزراعية، تقدّر السرعة عادة بالميل في الساعة. وفي تلك الحالة يجب تغيير الوحدات، وإلاّ كان الجواب خطأ. ادرس العبارات التالية:

إذا كانت الاستطاعة مساوية للعمل مقسوماً على الزمن، فإن:

$$P = \frac{D \times F}{T}$$

ويمكن تغيير هذه الصيغة لتصبح:

$$P = F \times \frac{D}{T}$$

ونظراً إلى أن D/T هي السرعة مقدرة بالميل في الساعة، فإنه يجب تحويلها إلى قدم في الدقيقة. وعامل تحويل السرعة الشائع هو: $1 \text{ mph} = 88 \text{ ft/min}$. وينتج هذا العامل تبعاً لما يلي:

$$88 \frac{\text{ft}}{\text{min}} = \frac{5,280 \text{ ft}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ mi}}{1 \text{ hr}}$$

لذا يمكن حساب الاستطاعة بواسطة المعادلة التالية:

$$P = F \times S \times 88$$

حيث F هي القوة مقدرة بالليبرة، و S هي السرعة مقدرة بالميل في الساعة، والقيمة 88 هي قيمة عامل الحويل.

11.3.3 العزم

العزم ينجم العزم عن تطبيق قوة على ذراع رافعة. وهو قوة تسبب التواء أو حركة دورانية. وبصيغة المعادلة:

$$\text{العزم} = \text{القوة} \times \text{طول الذراع}$$

أو:

$$T_o = F \times L_A$$

حيث T_o هو العزم مقدراً بالليبرة. قدم أو الليبرة. إنش، و F هي القوة مقدرة بالليبرة، و L_A هو طول ذراع الرافعة مقدراً بالقدم أو الإنش. أما طول ذراع الرافعة فهو المسافة من نقطة تطبيق القوة إلى مركز الدوران. ونظراً إلى أن

القوة تقدر بالليبرة، والطول يقدر بالقدم أو الإنش، فإن وحدتي العزم الشائعتين هما الليبرة.قدم أو الليبرة.إنش.

مسألة: ما مقدار العزم الناجم عن تطبيق قوة مقدارها 50.0 ليبرة على نهاية مفتاح ربط (مفتاح إنكليزي) طوله 1.0 قدم؟

الحل:

$$T_o = F \times LA = 50.0 \text{ lb} \times 1.0 \text{ ft} = 50 \text{ lb} \cdot \text{ft}$$

لاحظ أن الجواب قد كُتب بالشكل "50 ليبرة.قدم". لتمييز العزم من العمل، تُكتب وحدة العزم بحيث تأتي وحدة القوة أولاً، أي الليبرة، في حين أن وحدة العمل تُكتب بحيث تكون وحدة المسافة أولاً، أي بالشكل: "قدم.ليبرة". وثمة فارق آخر بين العزم والعمل. لقد ذكرنا أنه إذا لم تكن ثمة حركة أو انتقال، فإنه ليس ثمة من عمل. ونظراً إلى أن العزم هو قوة تؤثر من خلال ذراع رافعة، فإن العزم يمكن أن ينشأ من دون حصول انتقال.

مسألة: في أيّ من الحالتين التاليتين ينشأ عزم أكبر على محور الدوران: (1) 50.0 ليبرة تُطبّق عند نهاية مفتاح ربط طوله 6 إنشات (0.5 قدم)، أو (2) 15.0 ليبرة تُطبّق عند نهاية مفتاح ربط طوله 24.0 إنش (2 قدم)؟

الحل:

$$T_{o_1} = 50.0 \text{ lb} \times 0.5 \text{ ft} = 25 \text{ ft} \cdot \text{lb} \quad (1)$$

$$T_{o_2} = 15.0 \text{ lb} \times 2.0 \text{ ft} = 30 \text{ ft} \cdot \text{lb} \quad (2)$$

يُطبّق عزم أكبر في الحالة 2 على المحور (مفعول ليّ).

12.3.3 الحصان البخاري

صحيح أن الاستطاعة هي متغير أساسي، فإن المصطلح الأكثر شيوعاً في الزراعة هو الحصان البخاري* (Horsepower). سوف نستقصي في المقطع التالي مبادئ الحصان البخاري. إن الحصان البخاري هي وحدة اعتباطية ابتكرها جيمس واط (James Watt) لتوصيف محركاته البخارية الأولى. فقد شاهد الأحصنة ترفع دلاء الماء من الآبار واستنتج أن الحصان البخاري الواحد يكافئ إنجاز عمل بمعدل 33,000 قدم. ليبيرة في الدقيقة. وبذلك يكون التحويل الجبري بين الاستطاعة والحصان البخاري وفقاً لـ W لما يلي:

$$\begin{aligned} 1 \text{ hp} &= \frac{\text{Power} \left(\frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{min}} \right)}{33,000 \left(\frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{min}} \right)} \text{ or } 1 \text{ hp} \\ &= \text{Power} \left(\frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{min}} \right) \times \frac{1 \text{ min}}{33,000 (\text{lb} \cdot \text{ft})} \end{aligned}$$

لاحظ أنه إذا لم تكن وحدة الاستطاعة $\text{ft} \cdot \text{lb}/\text{min}$ ، فإن استعمال عامل التحويل $1 \text{ hp} = 33000 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{min}$ لا يعطي نتيجة صحيحة. إن معادلة الحصان البخاري العامة هي:

$$\text{hp} = \frac{F \times D}{T \times 33,000}$$

وهذا مثال لمعادلة ذات ثابت تحويل. هذا يعني ضرورة إعطاء جميع المتغيرات

* ليس الحصان البخاري استطاعة، بل هو وحدة استطاعة. لكن الدارج في أوساط المزارعين الأميركيين هو استعمال الحصان البخاري للتعبير عن الاستطاعة. وهذا الاستعمال مكرس في هذا الكتاب (المترجم).

الوحدات الصحيحة، وهذا يتطلب أن تكون المسافة D مقدرة بالقدم، والقوة F مقدرة بالليبرة، والمدة الزمنية T مقدرة بالدقيقة.

مسألة: كم حصاناً بخارياً ينجم عن تحميل 6 رزم وزن الواحدة منها 60 ليبرة على عربة جرّار ارتفاعها 4.0 أقدام خلال 1.5 دقيقة؟

الحل:

$$P(\text{hp}) = \frac{F \times D}{T \times 33,000} = \frac{4.0 \text{ ft} \times \left(6 \text{ bales} \times \frac{60.0 \text{ lb}}{\text{bale}}\right)}{1.5 \text{ min} \times 33,000}$$

$$= \frac{1,440}{49,500} = 0.02909.. \text{ or } 0.029 \text{ hp}$$

انظر الآن إلى ما يحصل إذا جرى التعبير عن مدة التحميل بـ 90.0 ثانية بدل 1.5 دقيقة. من الواضح أن 90.0 ثانية تكافئ 1.5 دقيقة، لكن إذا استعملت المعادلة عينها، فإنه يجب تحويل الثواني إلى دقائق أو يجب استعمال عامل مختلف لتحويل الاستطاعة إلى حصان بخاري. إذا استعمل عامل التحويل 33,000 مع المدة الزمنية المساوية 90.0 ثانية، نتج جواب غير صحيح. إلا أنه يمكن حل المشكلة بطريقتين. الأولى هي إضافة عامل تحويل زمني إلى المعادلة، وهي مفضلة لتضمنها بضعة حسابات فقط.

$$\text{hp} = \frac{F \times D}{T \times 33,000} = \frac{4.0 \text{ ft} \times \left(6 \text{ bales} \times \frac{60.0 \text{ lb}}{\text{bale}}\right)}{\left(90.0 \text{ sec} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}}\right) \times 33,000}$$

$$= \frac{1,440}{49,500} = 0.02 \text{ hp}$$

وفي الطريقة الثانية تُحدّد قيمة عامل التحويل المناسب للوحدات المستعملة.

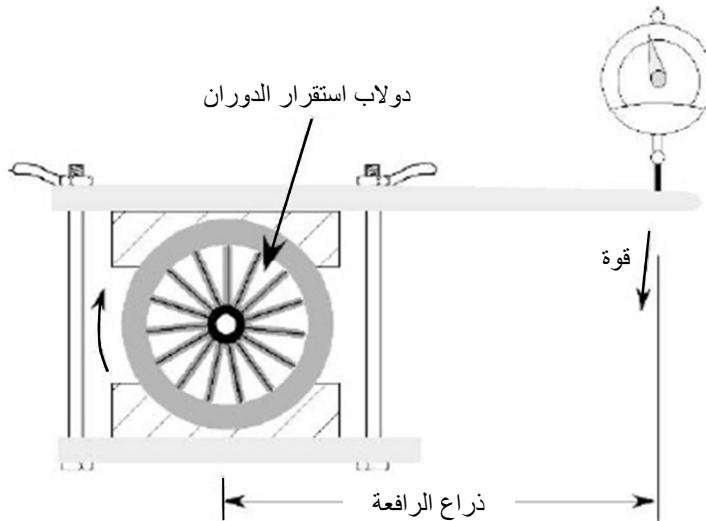
وفي الحالات التي يتكرر فيها حساب الحصان البخاري ويُقدَّر الزمن بالثواني، فإن الأكفأ هو استعمال عامل تحويل بين الاستطاعة والحصان البخاري. ويمكن تحقيق ذلك باستعمال حذف الوحدات:

$$\frac{33000 \text{ ft} \cdot \text{lb}}{1 \text{ min}} = \frac{33000 \text{ ft} \cdot \text{lb}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}} = 550 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{sec}}$$

باستعمال عامل التحويل هذا، نُحلُّ المسألة السابقة بالمعادلة التالية:

$$\text{hp} = \frac{F \times D}{T \times 550} = \frac{1440 \text{ ft} \cdot \text{lb}}{90.0 \text{ sec} \times 550} = \frac{1440}{49500} = 0.02 \text{ hp}$$

ويمكن حساب الحصان البخاري باستعمال العزم وسرعة المحور. ويسمى هذا بحصان المحور البخاري. وقد استُعملت هذه المعادلة لتقدير الحصان البخاري الذي كانت المحركات الأولى تولِّده باستعمال مكبح بروني (Prony Brake) المبين في الشكل 1.3.



الشكل 1.3 مكبح بروني.

استُعمل في مكبح بروني الأول الاحتكاك بين دولاب استقرار الدوران (Flywheel) وكتلة ثابتة من الخشب لتوليد قوة تُطبَّق على الرافعة. وبمعرفة القوة المطبَّقة على الرافعة وسرعة دوران الدولاب، يمكن تحديد الحصان البخاري للمكبح. ورياضياً، يُعطى الحصان البخاري للمكبح بالمعادلة التالية:

$$\text{Bhp} = \frac{FLN}{5252}$$

حيث F هي القوة الناتجة مقدَّرة بالليبرة، و L هو طول ذراع الرافعة مقدَّراً بالقدم، و N هي سرعة دوران محور مكبح بروني مقدَّراً بالدورة في الدقيقة (rpm)، والعدد 5252 هو ثابت تحويل الوحدات.

لقد اشتُقَّت هذه المعادلة من معادلة الحصان البخاري:

$$1 \text{ hp} = \frac{\frac{2\pi}{rev} \times F \times D \times N}{\frac{33000 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{min}}}{1 \text{ hp}}} = \frac{F \times D \times N}{5252}$$

حيث يساوي طول ذراع الرافعة نصف قطر الدائرة، وهي المسافة التي تعمل القوة من خلالها.

مسألة: ما عدد الأحصنة البخارية التي يُولِّدها محرك يدور بسرعة 1,700 دورة في الدقيقة حين قياس قوة تساوي 8 ليبرة عند نهاية ذراع مكبح بروني طولها 18.0 إنش؟

الحل:

$$\begin{aligned} \text{Bhp} &= \frac{FLN}{5252} = \frac{8 \text{ lb} \times \left(18.0 \text{ in} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}}\right) \times 1,700 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{5252} \\ &= \frac{20,400}{5,252} = 3.88 \dots \text{ or } 3.9 \text{ hp} \end{aligned}$$

ملاحظة: دُور الجواب إلى رقمين ذوي دلالة، لأن دلالة الأرقام في العدد 1700 ملتبسة، ويجب استعمال رقمين ذوي دلالة على الأقل لأن الـ 8 ليبرة هي قيمة مُقاسة، ولأن الارتياح يساوي ± 0.5 ليبرة.

يتضمن الحصان البخاري للمكبج طولاً وقوة. ونحن نعلم من مناقشات سابقة أنه إذا كان لدينا قوة مضروبة بطول، فإننا نتعامل مع عزم. لذا تُمكن إعادة كتابة معادلة الحصان الحراري للمكبج باستعمال العزم على النحو التالي:

$$\text{Bhp} = \frac{T_o \times N}{5252}$$

ما زال من الممكن استعمال مكبج بروني لقياس الحصان البخاري لمحرك، إلا أن مقاييس استطاعة المحركات الكهربائية والهيدروليكية الحديثة أكثر دقة من مكبج بروني. وتقاس استطاعة دوران المحركات الحديثة بالربط المباشر مع دولاب استقرار الدوران أو باستعمال محور التدوير الخلفي (مأخذ الاستطاعة) في المحرك.

4.3 استعمال وحدات المنظومة الدولية المترية SI

المشكلة الكبيرة في الوحدات العادية هي أن ليس ثمة من علاقة منطقية في ما بينها. فمثلاً، ليس ثمة من مبرر واضح لكون الميل مساوياً 5,280 قدماً.

وقد ابتُكرت المنظومة المترية (الدولية) في القرن الثامن عشر من قبل الفرنسيين لمعالجة هذه المشكلة.

إحدى مزايا المنظومة المترية هي أن جميع الوحدات تقوم على ظواهر طبيعية. فمثلاً، يساوي المتر المسافة التي يقطعها الضوء في الخلاء في $1/299\,792\,458$ من الثانية. وتُستعمل في الزراعة في الولايات المتحدة وحدات القياس العادية، إلا أن كثيراً من المصنّعين أخذوا بالتحوّل إلى المنظومة المترية، وأصبحت الزراعة أكثر تدويلاً من حيث بيع المحاصيل وشرائها. لذا من الضروري فهم الفوارق بين المنظومتين.

ناقشنا في المقطع السابق وحدات القياس العادية المختلفة. وفي هذا المقطع سوف نشرح وحدات المنظومة المترية المقابلة لها. تتصف المنظومة المترية بأنها عشرية، ويتطلب استعمال الوحدات المختلفة فيها معرفة التسمية الموافقة لقوى العشرة المختلفة. انظر الجدول 1.3.

الجدول 1.3 بادئات تسميات المنظومة المترية

10^{-24}	[y] yocto	يوكتو	10^{24}	[Y] yotta	يوتا
10^{-21}	[z] zepto	زبتو	10^{21}	[Z] zetta	زيتا
10^{-18}	[a] atto	أتو	10^{18}	[E] exa	إكسا
10^{-15}	[f] femto	فمتو	10^{15}	[P] peta	بتا
10^{-12}	[p] picp	بيكو	10^{12}	[T] tera	ترا
10^{-9}	[n] nano	نانو	10^9	[G] giga	جيغا
10^{-6}	[μ] micro	ميكرو	10^6	[M] mega	ميغا
10^{-3}	[m] milli	ميلي	10^3	[k] kilo	كيلو
10^{-2}	[c] centi	سنتي	10^2	[h] hecto	هكتو
0.1	[d] deci	ديسي	10	[da] deca	ديكا

ومع أن الموصى به في المنظومة المترية هو استعمال الوحدات القياسية أو المضاعفات الألفية للوحدات، وفق المبيّن في الجدول 1.3، فإن ثمة وحدات فيها غير قياسية كثيرة الاستعمال. ومن الضروري فهم واستعمال الفوارق بين الوحدات الأميركية العادية ووحدات المنظومة المترية على نحو صحيح. انظر الملحق 2.

1.4.3 المسافة

الوحدة القياسية للمسافة في المنظومة المترية هي المتر. ويساوي المتر نحو 39 إنشاً. ومن وحدات قياس الطول الأخرى الشائعة الاستعمال الميلمتر (mm) والكيلومتر (km). ومن الوحدات الشائعة غير القياسية السنتيمتر (cm).

2.4.3 المساحة

مبدأ المساحة هو نفسه كما سبق: مسافتان مضروبتان معاً. وتصبح الوحدات مربعة: ميليمتر مربع... إلخ. إن الوحدة المعتمدة للمساحة في المنظومة العادية الأميركية هي الإيكر. أما في المنظومة المترية، فيُستعمل الهكتار، ويساوي الإيكر الواحد نحو 0.4047 هكتار.

3.4.3 درجة الحرارة

وحدة درجة الحرارة المفضلة في المنظومة المترية هي السلسيوس (Celsius) (الدرجة المئوية). وقد صُمم سلم سلسيوس بحيث تساوي درجة غليان الماء مئة درجة مئوية 100°C ، وتساوي درجة تجمّد الماء الصفر المئوية 0°C . أما

معادلة التحويل من سلم فهرنهايت T_F إلى سلم سلسيوس T_C فهي:

$$T_C = \frac{5}{9} \times (T_F - 32)$$

ومعادلة التحويل من سلسيوس إلى فهرنهايت هي:

$$T_F = \frac{9}{5} \times (T_C + 32)$$

4.4.3 الحجم

الوحدة القياسية للحجم في المنظومة المترية هي اللتر. ويساوي اللتر 1000 سنتيمتر مكعب. واللتر أكبر قليلاً من الكوارت (Quart).

5.4.3 الوزن والقوة (الكتلة)

تقوم المنظومة العادية الأميركية (التي توصف أحياناً بأنها منظومة ثقالة) على القوة، في حين أن المنظومة المترية تقوم على الكتلة (Mass). ومفتاح فهم كيفية حل المسائل في هاتين المنظومتين هو فهم العلاقة بين الكتلة والقوة. أما تعريف الكتلة فقد اقترحه إسحق نيوتن.

أحد التعاريف المفيدة للكتلة هو: "الكتلة خاصية للمادة يمكننا بواسطتها مقارنة تأثير جسم في جسم آخر. وتتجلى هذه الخاصية على شكل تجاذب ثقالي بين جسمين، وهي توفر معياراً كمياً لمقاومة المادة لتغيير سرعتها" (وفقاً لـ Hibbler, R. C. *Engineering Mechanics*, 6th edition, Macmillan, New York). وهذا ينطوي على عدة أمور. أولاً، الثقالة هي صيغة من التسارع. ولذا فإن الكتلة مستقلة عن الثقالة. هذا يعني أن كتلتك هي نفسها على الأرض والقمر، وفي مركبة الفضاء المغادرة للأرض. وهي نفسها أيضاً على مدار في الفضاء حول الأرض.

ويمكن تحديد كتلة جسم ما بمقارنتها بكتلة جسم معروف آخر. وإحدى طرائق فعل ذلك هي وضع الجسم ذي الكتلة المجهولة في كفة ميزان ووضع أجسام ذات كتل معروفة في كفة الميزان الأخرى بحيث تتوازن الكفتان. وحينئذ تؤثر الثقالة في كلتا كفتي الميزان. ويعطي الميزان النتيجة نفسها على الأرض أو على القمر.

وتتغير القوة مع تغير التسارع. إن وزنك على القمر يساوي نحو سُدس وزنك على الأرض لأن القوة التي تجذبك إلى القمر، أي جاذبيته، تساوي نحو سُدس الثقالة الأرضية. أما على مدار حول الأرض، حيث تساوي قوة الثقالة الصفر، فإن وزنك يساوي الصفر.

إن اهتمامنا الرئيسي في هذا الكتاب هو بالقوة، لا بالكتلة. يُعرّف قانون نيوتن الثاني العلاقة بين الكتلة (m) والتسارع (a) والقوة (F)، وهي معطاة بالمعادلة:

$$F=ma$$

ووحدة القوة في المنظومة المترية هي النيوتن (N)، ووحدة الكتلة هي الكيلوغرام، ووحدة التسارع هي متر على ثانية مربع (m/s^2). ونُعرّف في المنظومة المترية كتلة الجسم ونحسب وزنه أو ثقله. ونظراً إلى أن الثقالة هي صيغة للتسارع، فإن من الممكن كتابة قانون نيوتن الثاني بالشكل:

$$W = mg$$

حيث W هو الثقل مقدراً بالنيوتن، و g هو تسارع الثقالة الأرضية عند سطح الأرض ويساوي $9.81 m/s^2$.

في المنظومة العادية الأميركية نقدّر القوة بالليبرة (الباوند) ونحسب الكتلة. وتحسب الكتلة على النحو التالي:

$$m = \frac{W}{g}$$

حيث W هو الوزن بالليبرة و $g = 32.3 \text{ ft/s}^2$.

يمكن شرح العلاقة بين الكتلة والوزن باستعمال مثال لرافعة من الفئة 1 (أي تلك التي تكون فيها نقطة الاستناد بين القوة والحمل). **ملاحظة:** ثمة مناقشة للرافعات من الفئة 1 في الفصل 4. افترض أنك تستعمل رافعة من الفئة 1 لفصل صخرة كبيرة عن الأرض، وتدفع نهاية الرافعة العليا نحو الأسفل بقوة تكفي لرفع قدميك عن الأرض من دون أن تتحرك الصخرة. وقد كنت قد وزنت نفسك في الآونة الأخيرة على ميزان متري ووجدت أن كتلتك تساوي 81 كيلوغراماً. يساوي طول ذراع القوة 1.5 متر، ويساوي طول ذراع الحمل 0.3 متر. ما مقدار وزن الصخرة؟

الخطوة الأولى في تحديد وزن الصخرة هي تحويل كتلة جسمك إلى وزن:

$$W = m \times g = 81 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 794.61 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 795 \text{ N}$$

والخطوة الثانية هي حساب وزن الصخرة باستعمال صيغة رافعة الفئة 1 وحساب قوة المقاومة F_r منها:

$$F_a \times A_a = F_r \times A_r$$

حيث A_a هو طول ذراع القوة، و A_r هو طول ذراع المقاومة. لقد كُتبت معادلة رافعة الفئة 1 بدلالة القوة F_a ، إلا أن الوزن هو قوة، أي $F_a = W$. لذا:

$$F_r = W \times \frac{A_a}{A_r}$$

$$F_r = 795 \text{ N} \times \frac{1.5 \text{ m}}{0.3 \text{ m}} = \frac{1,192.5}{0.3} \text{ N} = 3,975 \text{ or } 4,000 \text{ N}$$

إن وزن الصخرة يساوي نحو 4,000 نيوتن، أو 4 كيلو نيوتن.

6.4.3 الضغط

الضغط هو قوة مطبقة على وحدة مساحة. وفي المنظومة المترية، يمكن استعمال تركيب من وحدتي القوة والمساحة وحدة للضغط، إلا أن الوحدة المفضلة هي الباسكال (Pa)، والباسكال يساوي نيوتن على متر مربع (N/m^2). لذا:

$$1 \frac{N}{m^2} = 1 \text{ Pa}$$

7.4.3 الزمن

الوحدات المستعملة لتقدير الزمن في المنظومة المترية هي نفسها المستعملة في المنظومة العادية الأميركية.

8.4.3 السرعة والتسارع

تتحدد السرعة بالمسافة والمدة اللازمة لقطعها. وفي ما يخص الآليات، الوحدة المعتمدة للمسافة في المنظومة المترية هي الكيلومتر، والوحدة المعتمدة للزمن هي الساعة، ولذا فإن وحدة السرعة في المنظومة المترية هي كيلومتر في الساعة (km/hr). أما التسارع فهو معدل تغير السرعة، ووحدته في المنظومة المترية هي $m/s^2 = m/s/s$. أما وحدة التسارع في المنظومة العادية الأميركية فهي $ft/s^2 = ft/s/s$.

9.4.3 الاستطاعة

الاستطاعة هي معدل إنجاز العمل، والعمل هو قوة مضروبة بمسافة. وفي المنظومة المترية، تقدر القوة بالنيوتن، وتقدر المسافة بالمتري باستثناء حالات

الآليات التي تقدّر المسافة التي تقطعها بالكيلومتر. لذا يقدر العمل بوحدة النيوتن.متر. وهذه وحدة مقبولة لتقدير العمل، إلا أن الوحدة المفضلة في كثير من الحسابات هي الجول، والجول هو العمل الذي يُنجز حين استمرار فعل قوة مقدارها 1 نيوتن مسافة 1 متر في اتجاهها نفسه.

لذا تقدّر وحدة الاستطاعة في المنظومة المترية بالجول في الساعة. لكن وحدة الاستطاعة هذه ليست مستعملة عادة، والوحدة المفضلة عليها في المنظومة المترية هي الواط. وبكافئ الواط 1 جول في الثانية.

10.4.3 العزم

العزم هو تعبير عن تأثير القوة في رافعة. وفي المنظومة المترية، تقدّر القوة بالنيوتن وتقدّر المسافة بالمتر. ولذا يقدر العزم بالنيوتن متر (N.m).

11.4.3 الحصان البخاري

لا يوجد في المنظومة المترية تحويل بين الاستطاعة والحصان البخاري كذاك الموجود في المنظومة العادية الأميركية. أما وحدة الاستطاعة في المنظومة المترية فهي الواط، وتُستعمل معها بادئة ملائمة من قبيل الكيلو مثلاً: كيلو واط. في كثير من المسائل الزراعية التي تستعمل الواط تنتج أعداد كبيرة، ولذا من المتعارف عليه استعمال الكيلو واط (kW).

4.

الآلات البسيطة

1.4 الأهداف

1. التمكن من شرح الآلات الشائعة البسيطة.
2. التمكن من إعطاء أمثلة عن كل نوع من الآلات البسيطة.
3. التمكن من استعمال مبادئ الآلات البسيطة في حل المسائل.

2.4 تقديم

الآلة هي أي أداة تزيد من مفعول القوة أو تنظمها أو تولّد حركة. وجميع الآلات الزراعية تتألف من تراكيب وتعديلات لآلتين أساسيتين هما الرافعة والمستوي المائل. وسوف ندرس المبادئ الأساسية التي تقوم عليها هاتان الآلتان ونستعرض بعض تعديلاتهما واستعمالاتها الشائعة (ملاحظة: ثمة فرضيتان في المناقشة التالية للآلات البسيطة هما: إهمال المفاوئد الناجمة عن الاحتكاك، وعدم أخذ متانة المواد في الحسبان).

3.4 الرافعة

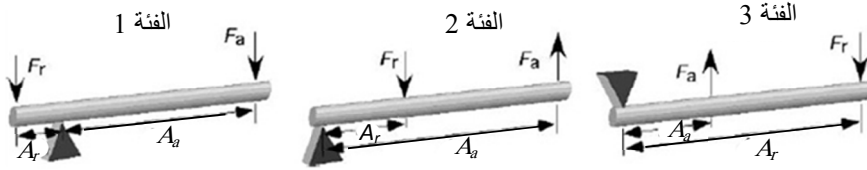
الرافعة هي قضيب جاسئ مستقيم أو منحني يمكن تدويره حول نقطة ثابتة (نقطة ارتكاز). وتوجد في الرافعة قوتان مختلفتان هما القوة المطبّقة (F_a) وقوة

المقاومة (F_r)، ويمكن استعمال القوتين والقضيب ونقطة الارتكاز بثلاث طرائق تسمى بالفئات. انظر الشكل 1.4.

يمكن التعبير عن مبدأ الرافعة رياضياً بالعلاقة التالية:

القوة المطبقة \times ذراعها = قوة المقاومة \times ذراعها

$$F_a \times A_a = F_r \times A_r$$



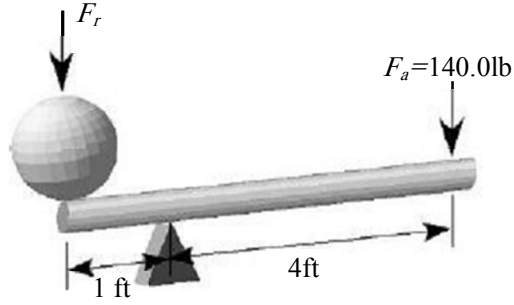
الشكل 4.1 فئات الرافعة الثلاث.

1.3.4 رافعة الفئة 1

تُستعمل رافعات الفئة 1 بسبب مزيّتها الميكانيكية في المقام الأول. وتتجلى تلك المزية في نسبة طولي الذراعين. في مناقشتنا للآلات البسيطة، سوف نعرّف المزية الميكانيكية بأنها زيادة القوة التي تحصل من خلال استعمال الرافعة. ورياضياً:

$$\frac{\text{طول ذراع القوة}}{\text{طول ذراع المقاومة}} = \text{المزية الميكانيكية}$$

ويُري الشكل 2.4 مبادئ رافعة الفئة 1.



الشكل 2.4 مثال لرافعة من الفئة 1.

مسألة: ما الثقل الذي يمكن لشخص يساوي وزنه 140.0 ليبرة رفعه برافعة من الفئة الأولى إذا كان طول ذراع القوة 4.0 أقدام وكان طول ذراع المقاومة 1.0 قدم؟

الحل: ثمة في هذه المسألة ثلاثة متغيرات معروفة هي: ذراع المقاومة $A_r = 1 \text{ ft}$ ، وذراع القوة $A_a = 4 \text{ ft}$ ، والقوة $F_a = 140 \text{ lb}$. ولحل المسألة، علينا استعمال إحدى تقنيات حل المسائل، وهي إعادة ترتيب المعادلة. وفي هذا المثال، يجب إعادة ترتيب المعادلة ووضع القيم فيها بغية حساب F_r :

$$F_a \times A_a = F_r \times A_r$$

$$F_r = \frac{F_a \times A_a}{A_r} = \frac{140.0 \text{ lb} \times 4.0 \text{ ft}}{1.0 \text{ ft}} = 560 \text{ lb}$$

[ملاحظة: استعمل في هذا الحل رقمان ذوا دلالة. وهذا مثال للحالة التي يكون فيها مغزى الصفر ملتبساً إلا إذا كان القارئ قادراً على الوصول إلى كامل المسألة. ولإزالة هذا الالتباس، تجب كتابة الجواب بالشكل 5.6 E2 lb].

باستعمال هذه الرافعة، من الممكن رفع ثقل مقداره 560 ليبرة بتطبيق قوة مقدارها 140 ليبرة. وهذا يوضّح المزية الميكانيكية لرافعات الفئة 1. ويتضح مصدر هذه المزية على نحو أفضل إذا كُتبت المعادلة بالشكل التالي:

$$F_r = 140.0 \text{ lb} \times \frac{4.0 \text{ ft}}{1.0 \text{ ft}}$$

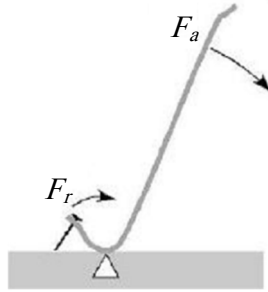
عندما تُرتَّب المعادلة بهذه الطريقة، من السهل رؤية أن زيادة القوة أو المزية الميكانيكية هي نسبة طولي الذراعين. وفي هذا المثال، مقدار زيادة القوة التي يمكن توليدها (المزية الميكانيكية) تساوي 4 مرات.

إضافة إلى المزية الميكانيكية، يمكن تحديد المسافة التي تتحركها نهايتا الرافعة وسرعتيهما أيضاً. وتُري الحسابات أن مسافة انتقال الحمل تتناسب مع نسبة طول ذراع المقاومة إلى طول ذراع القوة. وتتناسب سرعة حركة الحمل مع نسبة طول ذراع القوة إلى طول ذراع المقاومة.

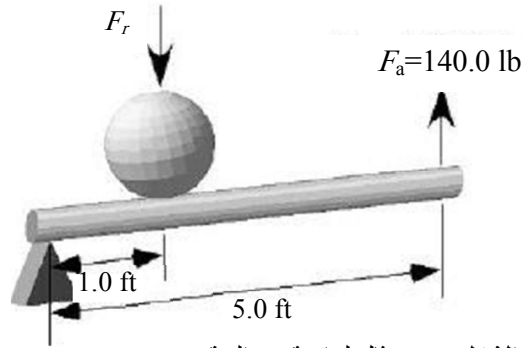
من أمثلة استعمال رافعات الفئة 1 قضيب الخلع الذي ينتزع مسماراً وفق المبيّن في الشكل 3.4.

2.3.4 رافعة الفئة 2

تُنتج الرافعة من الفئة 2 أيضاً مزية ميكانيكية. وفي هذه الرافعة تساوي المزية الميكانيكية نسبة المسافة بين نقطة الارتكاز ونقطة تطبيق القوة والمسافة من نقطة الارتكاز ونقطة المقاومة، وفق المبيّن في الشكل 4.4. واستُعملت قيمة القوة عينها (140 ليبرة) لتوضيح عمل هذه الرافعة أيضاً.



الشكل 3.4 مثال لاستعمال الرافعة من الفئة 1.



الشكل 4.4 مثال لرافعة من الفئة 2.

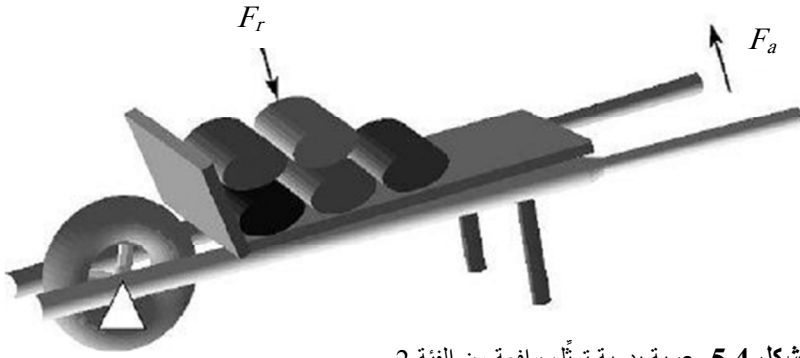
باستعمال معادلة الرافعة بعد إعادة ترتيبها، يمكن تحديد قيمة المقاومة الموافقة للقوة المطبقة:

$$F_a \times A_a = F_r \times A_r$$

$$F_r = \frac{F_a \times A_a}{A_r} = \frac{140.0 \text{ lb} \times 5.0 \text{ ft}}{1.0 \text{ ft}} = 700 \text{ lb or } 7.0\text{E}2 \text{ lb}$$

إن المزية الميكانيكية لرافعة الفئة 2 أكبر دائماً من نظيرتها في رافعة الفئة 1. ففي هذا المثال، تساوي المزية الميكانيكية 5 مقسومة على 1، أي 5. وهذا هو سبب أنه يمكن تحريك حمل مقداره 700 ليبرة بواسطة القوة 140 ليبرة فقط مطبقة عند نقطة ارتكاز الرافعة.

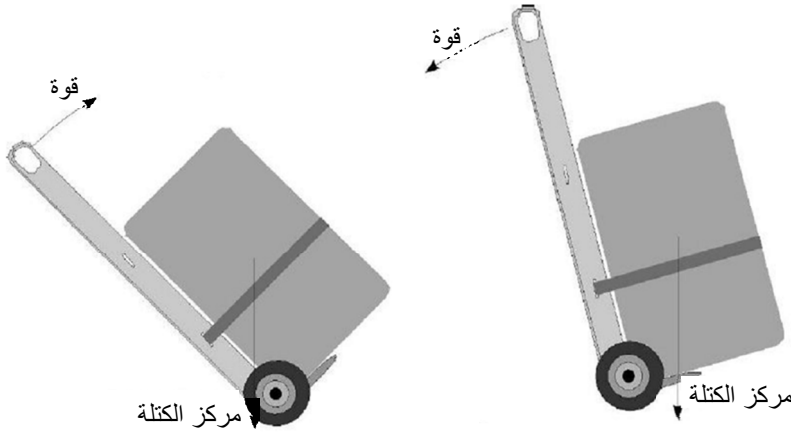
وتتناسب مسافة الانتقال وسرعة الحركة في رافعة الفئة 2 مع نسبة الذراعين أيضاً. ويُرى الشكل 5.4 مثلاً شائعاً لاستعمال رافعة الفئة 2 في العربة اليدوية.



الشكل 5.4 عربة يدوية تمثل رافعة من الفئة 2.

من الضروري الانتباه إلى أن تحديد فئة الرافعة يعتمد على موضع نقطة الارتكاز، وعلى طول ذراع القوة المطبقة وطول ذراع المقاومة. وإذا تغيرت العلاقة بين هذه المكونات الثلاثة، تغيرت فئة الرافعة. والآلة البسيطة التي من مثل العربة اليدوية، يمكن أن تعمل بصفاتها رافعة من الفئة 1 أو الفئة 2. ويبيّن الشكل 6.4 أن مركز الكتلة عندما يكون إلى يمين نقطة الارتكاز (محور الدولاب) تعمل العربة بوصفها رافعة من الفئة 1.

وعندما يكون مركز الكتلة إلى يسار نقطة الارتكاز (محور الدولاب)، عملت العربة بوصفها رافعة من الفئة 2. انظر الشكل 7.4.



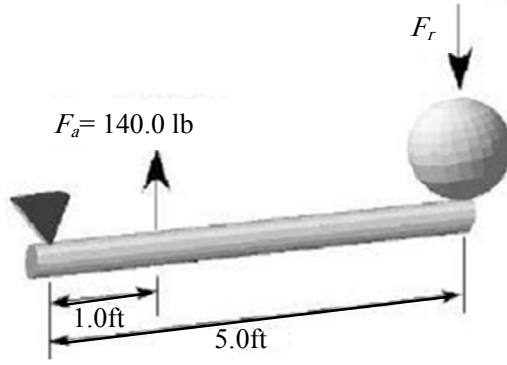
الشكل 6.4 مثال لرافعة من الفئة 1.

الشكل 7.4 مثال لرافعة من الفئة 2.

لاحظ أن اتجاه القوة عند يد العربة يتغير أيضاً. وحين استعمال العربة بوصفها رافعة من الفئة 1، على العامل توفير دفع مستمر ليد العربة إلى الأسفل. وحين استعمالها بوصفها رافعة من الفئة 2، على العامل رفع يد العربة إلى الأعلى.

3.3.4 رافعة الفئة 3

لا توجد في رافعة الفئة 3 مزية ميكانيكية (أو إن مزيته الميكانيكية أصغر من الواحد). وهي تُستعمل لزيادة السرعة والحركة في المقام الأول. وسوف نستعمل القوة المطبقة والمسافات التي استعملناها سابقاً نفسها لتوضيح الرافعة من الفئة 3. انظر الشكل 8.4.



الشكل 8.4 مثال لرافعة من الفئة 3.

تتحدد قوة المقاومة في رافعة الفئة 3 بترتيب معادلة الرافعة وفق ما يلي:

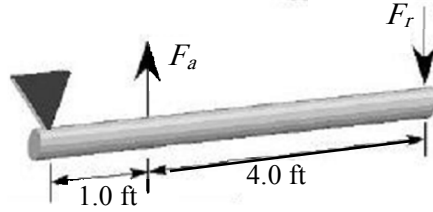
$$F_a \times A_a = F_r \times A_r$$

$$F_r = \frac{F_a \times A_a}{A_r} = \frac{140.0 \text{ lb} \times 1.0 \text{ ft}}{5.0 \text{ ft}} = 28 \text{ lb}$$

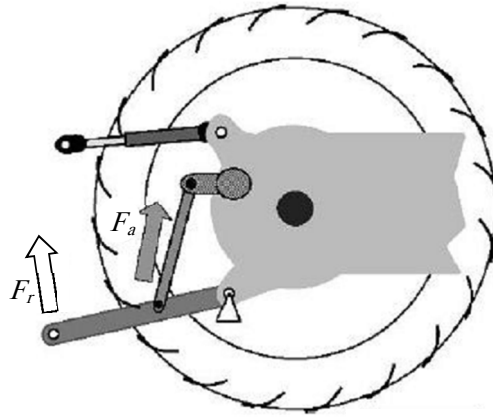
يتضح من هذا المثال أن الميزة الميكانيكية لرافعة الفئة 3 أصغر من الواحد دائماً. تستطيع القوة المطبقة التي تساوي 140 ليبرة أن ترفع وزناً يساوي 28 ليبرة فقط. أما سرعة حركة نقطة المقاومة ومسافة الانتقال فتزداد بالتناسب مع نسبة ذراع المقاومة إلى ذراع القوة.

من الضروري أن نتذكر حين استعمال جميع فئات الرافعة الثلاث، أن طولي ذراعي القوة والمقاومة يُقاسان من نقطة الارتكاز. وفي الفئتين 2 و 3، يمكن تجزئة قياس طولي ذراعي القوة أو المقاومة وفقاً للمبين في الشكل 9.4. في هذا الشكل، طول ذراع المقاومة يساوي 5 أقدام لأن المسافة تُقاس من نقطة الارتكاز.

من الاستعمالات الشائعة لرافعة الفئة 3 عتلة الجزار الثلاثية الأطراف. انظر الشكل 10.4.



الشكل 9.4 رافعة من الفئة 3 مع تجزئة قياس طول الذراع.



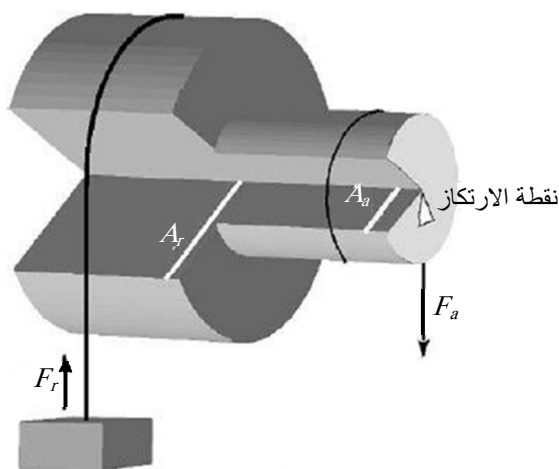
الشكل 10.4 مثال لاستعمال رافعة من الفئة 3.

4.4 الدولاب والمحور

يعمل الدولاب والمحور عمل رافعة مستمرة. يوافق مركز المحور نقطة الارتكاز، ويتصف الدولاب والمحور بمزية ميكانيكية (أكبر من الواحد) إذا كان

نصف قطر الدولاب هو ذراع القوة وكان نصف قطر المحور هو ذراع المقاومة. أما إذا كان نصف قطر الدولاب هو ذراع المقاومة، وكان نصف قطر المحور هو ذراع القوة، فليس ثمة من مزية ميكانيكية (أصغر من الواحد). انظر الشكل 11.4.

أما تحديد المزية الميكانيكية، فيحصل باستعمال المعادلة المستعملة عينا في فئات الرافعة الثلاث.



الشكل 11.4 الدولاب والمحور

مسألة: ما مقدار القوة اللازمة لرفع وزن مقداره 10.0 ليبرة بواسطة الدولاب والمحور المبينين في الشكل 11.4 عندما يساوي قطر المحور 4.0 إنشات، ويساوي قطر الدولاب 10.0 إنشات؟

الحل: الخطوة الأولى هي ترتيب المعادلة لإيجاد القوة المطبقة. تذكر أن طول ذراع القوة هو نصف قطر المحور، وأن طول ذراع المقاومة هو نصف قطر الدولاب:

$$F_a \times A_a = F_r \times A_r$$

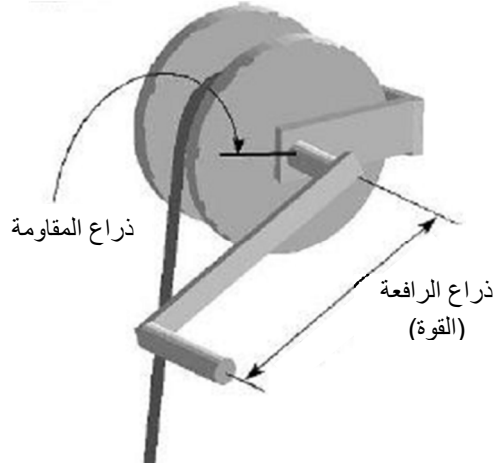
$$F_a = \frac{F_r \times A_r}{A_a} = \frac{10.0 \text{ lb} \times 5.0 \text{ ft}}{2.0 \text{ ft}} = 25.0 \text{ lb}$$

لا يُستعمل الدولاب والمحور وحدهما عادة، بل يُستعملان مع نظام تغيير سرعة لتكوين رافعة تُشغّل يدوياً أو بواسطة محرك كهربائي كما في الجرارات أو في تطبيقات أخرى. انظر الشكل 12.4.

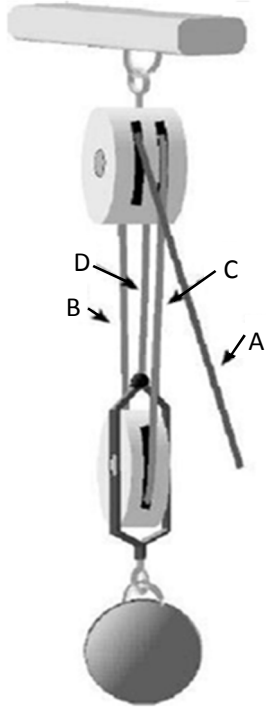
5.4 رافعة البكرة

رافعة البكرة هي تعديل لرافعات الفئة الأولى أو الثانية. ولا توفر رافعة البكرة الوحدة أي ميزة ميكانيكية، بل مجرد تغيير في اتجاه الحركة. انظر الشكل 13.4.

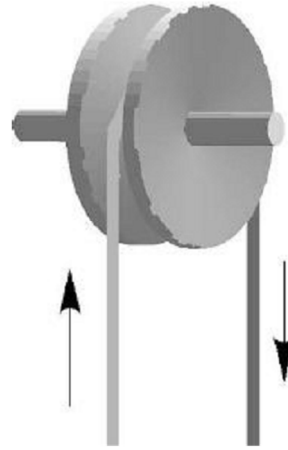
إذا لم يُهمل ضياع الاستطاعة الناجم عن الاحتكاك، كانت الميزة الميكانيكية لرافعة البكرة المفردة أصغر من الواحد. وعندما تُضم رافعات البكرة في أزواج، تنشأ ميزة ميكانيكية. ويُسمى هذا الاستعمال لرافعات البكرة عادة برافعة البكرات المركبة. انظر الشكل 14.4.



الشكل 12.4 دولاب ومحور مستعملان بوصفهما رافعة من دون نظام تغيير



الشكل 14.4 رافعة بكرات مرغبة.



الشكل 13.4 رافعة بكرة مفردة.

يتناسب مقدار المزية الميكانيكية التي تولدها رافعة البكرات المركبة مع عدد الحبال التي ترفع الحمل. يوجد في الرافعة المبينة في الشكل 14.4 أربعة حبال، إلا أن ثلاثة منها فقط ترفع الحمل هي A و B و C. ويساوي الوزن الذي يمكن رفعه في هذه التشكيلة ثلاثة أضعاف القوة المطبقة:

$$R_n = \frac{W}{F}$$

حيث W هو وزن الحمل الذي سوف يُرفع، و F هي القوة المطبقة على الرافعة، و R_n هو عدد الحبال.

مسألة: ما مقدار القوة اللازمة لرافعة البكرات المركبة المبينة في الشكل 14.4 لرفع كرة وزنها 545 ليبرة؟

الحل: من الشكل 14.4، يساوي عدد الحبال التي ترفع الحمل 3. ويمكن حساب قوة الشد اللازمة لرفع الحمل بإعادة ترتيب معادلة الرافعة:

$$F = \frac{W}{R_n} = \frac{545 \text{ lb}}{3} = 181.66 \dots \text{ or } 182 \text{ lb}$$

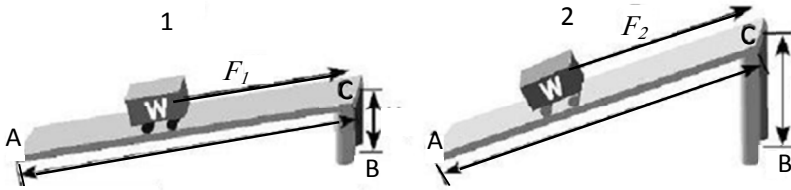
باستعمال ثلاثة حبال، يمكن رفع حمل يساوي 545 ليبرة بواسطة قوة تساوي 182 ليبرة، إلا أن الحبل الذي تُطبق عليه القوة يتحرك مسافة تساوي ثلاثة أمثال المسافة التي يتحركها الحمل.

6.4 المستوي المائل

المستوي المائل هو سطح مستوٍ مائل بزاوية مع الأفق والشاقول. ويولد المستوي المائل مزية ميكانيكية يتحدد مقدارها بنسبة طول المستوي المائل إلى

التغير في الارتفاع. فعوضاً من رفع الوزن بكامله عمودياً، يحمل المستوي جزءاً من منه.

قارن الرسمين 1 و 2 في الشكل 15.4. يوحي التعليل الحدسي أنه إذا كان الوزن الذي يُحرَّك والمسافة AC هما نفسهما في الحالتين، كانت ثمة حاجة إلى قوة أصغر (بافتراض إهمال الاحتكاك) لتحريك العربة إلى أعلى المستوي في حالة الرسم 1 لأن التغير في الارتفاع في الرسم 1 أصغر منه في الرسم 2، على أن يكون طولا المستويين المائلين متساويين. وإذا أردنا معرفة مقدار القوة اللازمة لشد العربة، علينا استعمال معادلة تقوم على مبدأ المستوي المائل:



الشكل 15.4 مستويان مائلان.

$$F \times AC = W \times BC$$

حيث F هي قوة شد العربة (الاحتكاك مهملة) و AC هو طول المستوي المائل، و W هو وزن العربة، و BC هو ارتفاع نهاية المستوي المائل.

إذا حللنا الرسم 1 في الشكل 15.4 أولاً وافترضنا أن الوزن الكلي للعربة يساوي 100.0 ليبرة، وأن الارتفاع BC يساوي 2.0 قدم، وطول المستوي المائل AC يساوي 12.0 قدم، وجدنا أن القوة اللازمة لجر العربة إلى أعلى المستوي المائل تساوي:

$$F = \frac{W \times BC}{AC} = \frac{100.0 \text{ lb} \times 2.0 \text{ ft}}{12.0 \text{ ft}} = 16.666 \dots \text{ or } 17 \text{ lb}$$

يمكننا أن نرى الآن أن الاستنتاج السابق بخصوص الرسم 2 كان صحيحاً. سوف نستعمل المعادلة عينها لحساب القوة في هذه الحالة. بافتراض أن طول المستوي AC هو نفسه، وأن الارتفاع BC يساوي 4.0 أقدام، نجد أن:

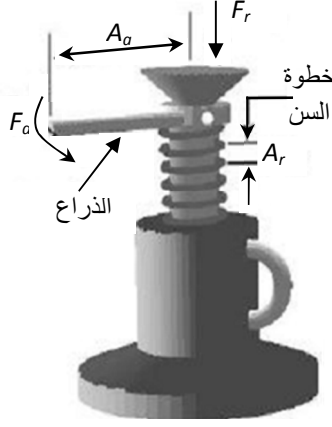
$$F = \frac{100.0 \text{ lb} \times 4.0 \text{ ft}}{12.0 \text{ ft}} = 33.333 \dots \text{ or } 33 \text{ lb}$$

من الواضح أن المستوي المائل ذا زاوية الميل التي هي أكبر يتطلب قوة أكبر لرفع الوزن نفسه.

7.4 الحززون أو اللولب

الحززون هو تعديل للمستوي المائل مع رافعة. تمثل أسنان الحززون أو اللولب أو البرغي مستويًا مائلاً ملفوفاً على شكل أسطوانة. وتُستعمل الرافعة لتدوير الأسنان، وهذا يجعل الحمل يتحرك على طول الأسطوانة. ومن أمثلة هذا المبدأ رافعة السيارة ذات اللولب.

يُرى الشكل 16.4 هذا المبدأ مستعملاً في رافعة السيارة حيث يمثل ذراع الرافعة ذراع القوة. وينطبق المبدأ عينه على البرغي والصامولة. وفي الحالة الأخيرة، يمثل مفتاح الربط ذراع الرافعة، ويمثل ضغط القمط بالصامولة المقاومة.



الشكل 16.4 رافعة حلزونية.

تسمى المسافة بين سنَّين من الحلزون خطوة، وهي تحدّد مقدار الحركة الخطية لكل دورة. وتحدّد المزية الميكانيكية بنسبة نصف قطر الرافعة وطول الخطوة. وتُستعمل معادلة الرافعة للتعبير عن هذه العلاقة:

$$F_a \times A_a = F_r \times A_r$$

حيث F_a هي القوة المطبّقة عند نهاية ذراع الرافعة، و F_r هو مقدار الوزن الذي ترفعه الرافعة، و A_a هو طول ذراع الرافعة، و A_r هو طول خطوة سن الحلزون.

مسألة: إذا كان طول ذراع الرافعة في الشكل 16.4 يساوي 18 إنشاً، وكانت خطوة السن تساوي 0.125 إنش، فما هو الوزن الذي يمكن رفعه حين تطبيق قوة مقدارها 50.0 لبيرة (مع إهمال الاحتكاك)؟

الحل:

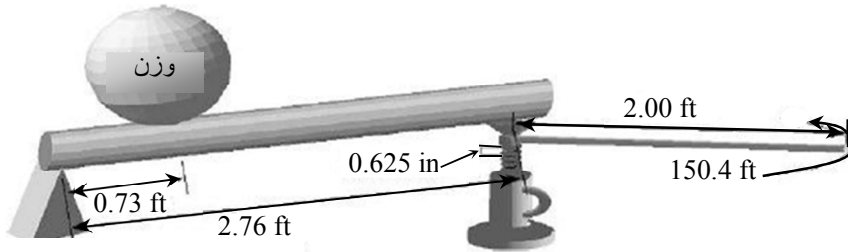
$$F_r = \frac{F_a \times A_a}{A_r} = \frac{50.0 \text{ lb} \times 18.0 \text{ in}}{0.125 \text{ in}} = 7,200 \text{ lb or } 7.20 \text{ E3 lb}$$

يتضح من هذه المسألة أن حين استعمال رافعة الحلزون فإن قوة صغيرة يمكن أن ترفع حملاً كبيراً. أما عيب هذه الرافعة فهو أن الحمل يرتفع بمقدور 0.125 إنش (1/8 من الإنش) فقط مع كل دورة لمقبض الذراع.

يؤثر الاحتكاك في أداء هذه الرافعة أكثر من تأثيره في أداء الرافعات الأخرى. لكن بالتشحيم الملائم، يمكن الإبقاء عليه عند مستويات مقبولة.

8.4 ضم الآلات معاً

تتألف جميع الآلات الزراعية من تركيب من تلك الآلات البسيطة الخمس. وتحليل القوى الفاعلة في الآلات المعقدة يقع خارج إطار أغراض هذا الكتاب، إلا أن الشكل 17.4 يري مثالاً لكيفية استعمال آلتين أو أكثر معاً.



الشكل 17.4 آلتان تعملان معاً.

وهذا المثال مفيد أيضاً لمناقشة عملية حل المسائل. ففي البداية، نحاول حساب مقدار الوزن الذي سيُرفع. وإذا اتُّبع هذا النهج، تبين مباشرة أن ثمة

معلومة مهمة مفقودة. ما مقدار القوة المطبقة؟ لحل هذه المسألة من الضروري إدراك أن الخطوة الأولى هي حساب مقدار القوة التي تولدها رافعة السيارة:

$$F_a \times A_a = F_r \times A_r$$

$$F_r = \frac{F_a \times A_a}{A_r} = \frac{150.4 \text{ lb} \times 2.00 \text{ ft}}{0.625 \text{ in} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}}} = \frac{300.8}{0.052}$$

$$= 5,784.6153 \text{ or } 5,784.62$$

ملاحظة: لم يُدَوَّر الجواب في هذه المسألة إلى عدد ملائم من الأرقام ذات الدلالة لأن هذا الحساب هو مجرد خطوة أولى من حل مسألة متعددة الخطوات.

بإهمال الاحتكاك ومسألة متانة المواد، يمكن لرافعة السيارة توليد قوة تساوي 5,775.36 ليبرة، وهذه القوة هي القوة المطبقة بالنسبة إلى الرافعة. لذا يتحدد مقدار الوزن الذي يمكن للرافعة أن ترفعه بما يلي:

$$F_a \times A_a = F_r \times A_r$$

$$F_r = \frac{5,784.62 \text{ lb} \times 2.76 \text{ ft}}{0.73 \text{ ft}} = \frac{15965.5512}{0.73}$$

$$= 21,870.6180 \dots \text{ or } 22000 \text{ lb}$$

تستطيع الآلتان المبيّنتان في الشكل رفع 22000 ليبرة بتطبيق قوة تساوي 150.4 ليبرة على ذراع رافعة السيارة.

9.4 مسائل بالوحدات المترية

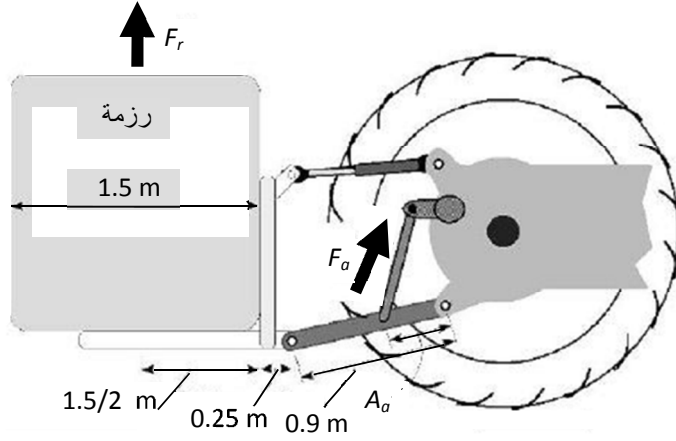
يمكن استعراض عملية حل مسائل تتضمن رافعات وقوى ذات وحدات مترية

بالمثال التالي. تُستعمل عتلة جرار ثلاثية النقاط لرفع رزمة كبيرة من التبن. وكنّت أخيراً قد وزنت الرزمة بواسطة ميزان متري ووجدت أن وزنها يساوي 840 كيلوغراماً. وذراع الرفع موصولة بالذراع السفلي للعتلة على بعد 0.5 متر من نقطة المحور، ويساوي طول ذراع العتلة السفلي 0.95 متر. ما مقدار القوة التي يجب توليدها بواسطة ذراع الرفع بغية رفع الرزمة؟

الخطوة الأولى في تحديد مقدار القوة اللازمة لرفع الرزمة هي تحويل كتلتها إلى ثقل W :

$$\begin{aligned} W &= m \times g \\ &= 840 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ &= 8,240.4 \text{ N} \end{aligned}$$

والخطوة الثاني هي حساب القوة اللازمة باستعمل معادلة رافعة من الفئة 3. وتُكتَب هذه المعادلة بدلالة قوة أو وزن الجسم $F_r = W$. وهذا مثال للحالة التي يمكن أن يحصل فيها خطأ كبير لأن الطول الفعلي لذراع المقاومة ليس طول ذراع العتلة السفلي، بل المسافة من نقطة المحور إلى مركز كتلة الرزمة. انظر الشكل 18.4.



الشكل 18.4 رسم مسألة الرزمة.

بافتراض أن عرض رزمة التبن يساوي 1.5 متر، مع مسافة إضافية تساوي 25.0 سنتيمتراً من نهاية ذراع الرفع السفلى حتى حافة الرزمة الأمامية، يكون طول ذراع المقاومة:

$$A_r = 0.95 \text{ m} + 0.25 \text{ m} + \frac{1.5 \text{ m}}{2} = 1.95 \text{ m}$$

وتساوي قوة الرفع اللازمة:

$$F_a = W \times \frac{A_r}{A_a} = 8240.4 \text{ N} \times \frac{1.95 \text{ m}}{0.50 \text{ m}} = 32136.00 \text{ or } 3.2 \text{ E4 N}^*$$

يتطلب رفع رزمة التبن التي يساوي وزنها 840 كيلوغراماً أن تولّد ذراع الرفع في العتلة الثلاثية النقاط قوة مقدارها 3.2 E4 N كي ترفعها.

ويمكن استعمال الإجراء عينه لحل أي مسألة أخرى في هذا الفصل.

* وردت في الكتاب الأصلي الكثير من المعادلات الخاطئة مما جعلنا نعيد مراجعتها وتصحيحها للدقة (المترجم والمراجعان).

5.

محركات الاحتراق الداخلي

1.5 الأهداف

1. التمكن من سرد الأحداث ووصفها التي تحصل في محرك الاحتراق الداخلي.
2. التمكن من وصف كيفية اختلاف محرك الإشعال بالشرارة (دورة أوتو) في عمله عن محرك الإشعال بالضغط (دورة ديزل).
3. التمكن من وصف تسلسل الأحداث التي تحصل خلال كل شوط من دورة المحرك الرباعي الأشواط ورسم مخططاتها.
4. التمكن من وصف تسلسل الأحداث التي تحصل خلال كل شوط من دورة المحرك الثنائي الأشواط ورسم مخططاتها.
5. من معرفة قطر أسطوانة المحرك والشوط وعدد الأسطوانات والحجم المتبقي، التمكن من حساب المسافة التي يتحركها المكبس ونسبة الضغط التي تتولد فوقه باستعمال الوحدات العادية الأميركية والمترية.

2.5 تقديم

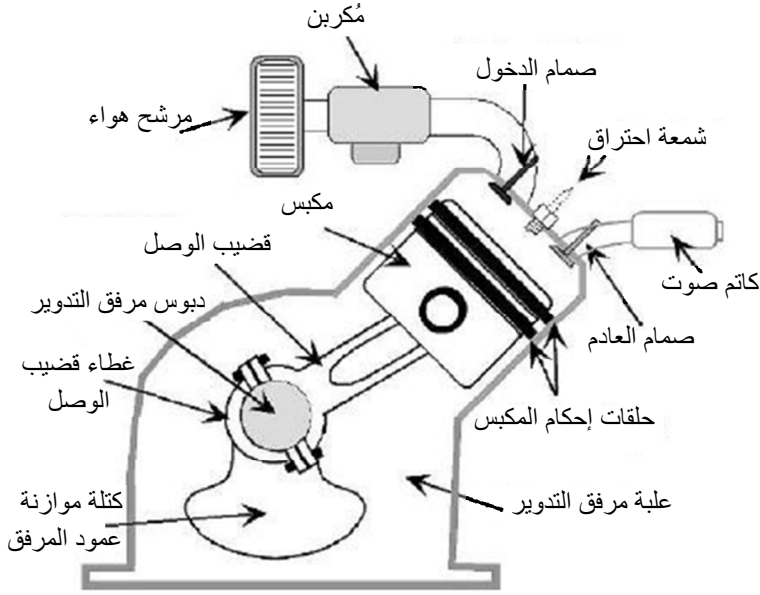
ثمة ستة مصادر رئيسية للاستطاعة في الزراعة: اليد البشرية العاملة، والحيوانات المنزلية، والرياح، والماء المتدفق، والكهرباء، ومحركات الاحتراق.

ومصدرا الطاقة الرئيسيان في الزراعة الحديثة هما محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي. ويوماً ما، قد يتغير مصدر الطاقة ليصبح خلايا الوقود والطاقة الشمسية والطاقة النووية، لكن محركات الاحتراق الداخلي والمحركات الكهربائية سوف تبقى في المستقبل المنظور مصادر الاستطاعة الرئيسية في الزراعة.

وتتراوح محركات الاحتراق الداخلي المستعملة في الزراعة من تلك المستعملة في آلات الحقائق ذات الحصان البخاري الواحد، حتى المحركات ذات مئات الأحصنة البخارية اللازمة للجرارات الكبيرة. ونظراً إلى أن المحركات شائعة جداً، فإن معرفة طريقة عملها، ولماذا تعمل، ضرورية لمدير الزراعة الناجح. وفي هذا الفصل، نناقش أنواع المحركات ووظائفها الأساسية، إضافة إلى بعض الحسابات الأولية التي تخص حجم المحرك ونسبة الضغط فيه.

3.5 نظرية العمل

وظيفة جميع محركات الاحتراق الداخلي هي تحويل طاقة الوقود (الطاقة الكيميائية) إلى طاقة ميكانيكية. ويتحقق ذلك بحرق الوقود في حجرة مغلقة، وباستعمال زيادة درجة الحرارة ضمنها لزيادة الضغط. ويولد الضغط قوة فوق المكبس فتحرّكه. وتحوّل حركة المكبس الخطية إلى حركة دورانية (بواسطة عمود المرافق) وفقاً للمبين في الشكل 1.5. فالحركة الدورانية أكثر فائدة من الحركة الخطية.



الشكل 1.5 أجزاء محرك احتراق داخلي يعمل بالبنزين .

ثمة ثمانية متطلبات لعمل محركات الاحتراق الداخلي:

1. إدخال الهواء (الأكسجين) إلى أسطوانة المحرك.
2. إدخال كمية من الوقود إلى الأسطوانة.
3. مزج الهواء والوقود.
4. ضغط مزيج الهواء والوقود.
5. إشعال مزيج الهواء والوقود المضغوط بواسطة شمعة احتراق في محركات البنزين [الغازولين] أو بواسطة حرارة الانضغاط في محركات الديزل.
6. يؤدي احتراق مزيج الوقود والهواء إلى زيادة سريعة في الضغط ضمن الأسطوانة على المكبس مطبقة قوة عليه.

7. يحوّل قضيب الوصل وعمود المرافق حركة المكبس الخطية إلى حركة دورانية. أي يتحول الضغط على المكبس إلى عزم دوران يُدَوِّر عمود المرافق.

8. تُطرد نواتج الاحتراق إلى خارج المحرك.

ويوضّح المقطع التالي طريقتين لتسلسل تلك الأحداث: دورة رباعية الأشواط ودورة ثنائية الأشواط.

1.3.5 الدورة الرباعية الأشواط

يمثّل المحرك الرباعي الأشواط واحداً من نوعين شائعين من محركات الاحتراق الداخلي ذات الإشعال بشمعات الاحتراق والإشعال بالضغط. وتحصل في هذا المحرك الأحداث الثمانية المذكورة آنفاً في أثناء أربعة أشواط للمكبس، أو دورتين لعمود المرافق. والأشواط الأربعة هي:

1. إدخال الوقود والهواء

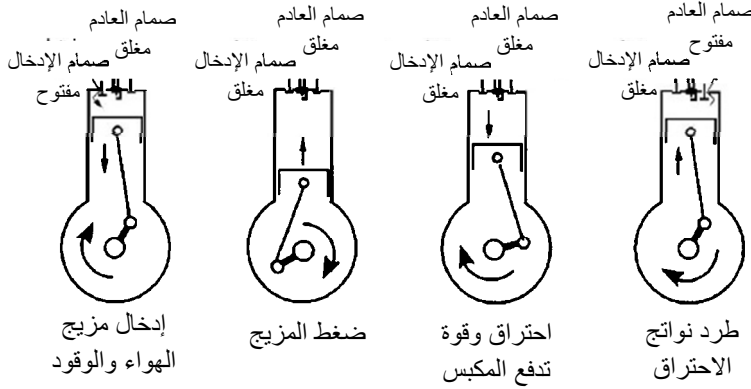
2. ضغط المزيج

3. إشعال المزيج وتوليد طاقة

4. طرد نواتج الاحتراق

ادرس الشكل 2.5 والوصف التالي للأحداث. في شوط الإدخال، يفتح صمام الإدخال وينتقل المكبس من أعلى الأسطوانة إلى أسفلها. في أثناء شوط الإدخال، وفي كلا محركي الإشعال بشرارة شمعة الاحتراق وبالضغط ينخفض الضغط ضمن الأسطوانة في أثناء حركة المكبس إلى الأسفل. ويدفع الضغط الجوي خارج الأسطوانة، وهو أعلى من الضغط في داخلها، الهواء عبر صمام

الإدخال إلى داخلها حين فتح ذلك الصمام. وفي محركات الكرينة، يدخل الوقود ضمن تيار الهواء حين تدفقه عبر المكربن. وبعد وصول المكبس إلى أسفل شوط الإدخال بقليل، يُغلق صمام الإدخال محتجزاً بذلك مزيج الهواء والوقود ضمن الأسطوانة. إن أي عوائق لتدفق الهواء إلى المحرك تُخفّض كفاءته الحجمية التي تعطى بنسبة مقدار الهواء الذي يدخل الأسطوانة إلى مقدار الهواء الذي يمكن للأسطوانة أن تستوعبه عندما تكون ممتلئة تماماً تحت الضغط الجوي. وانخفاض الكفاءة الحجمية يُخفّض الاستطاعة التي يولدها المحرك. ومن أسباب انخفاض الكفاءة الحجمية اتساخ مرشح الهواء.



الشكل 2.5 أسواط المحرك الرباعي الأسواط.

ثم يأتي شوط ضغط المزيج. فنظراً إلى أن مزيج الهواء والوقود محصور في الأسطوانة، وحين عودة المكبس إلى الأعلى خلال هذا الشوط، ينضغط المزيج، وحين انضغاطه، ترتفع درجة حرارته. وعندما يقترب المكبس من نهاية شوط الضغط، أي أعلى الأسطوانة، يحصل اشتعال المزيج. والضغط الناجم عن الاشتعال هو مفتاح تحويل طاقة الوقود إلى طاقة ميكانيكية. وإذا تسرب أي جزء من ضغط الاحتراق إلى خارج حجرة الاحتراق، تقلّص مقدار الاستطاعة

الميكانيكية الناتجة. وفي المحركات التي تعمل مدة طويلة، أو السيئة الصيانة، تصبح حلقات منع التسرب في المكبس أقل مقدرة على إحكام سد حجرة الاحتراق، ولذا يخرج بعض غازات الاحتراق عبر الحلقات إلى علبة عمود المرافق.

ويؤدي التمدد السريع للمزيج المحترق إلى زيادة الضغط P ضمن الأسطوانة بسرعة كبيرة. ويولدّ الازدياد السريع للضغط قوة F على سطح أعلى المكبس الذي تساوي مساحته A :

$$F(\text{lb}) = P \left(\frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right) \times A(\text{in}^2)$$

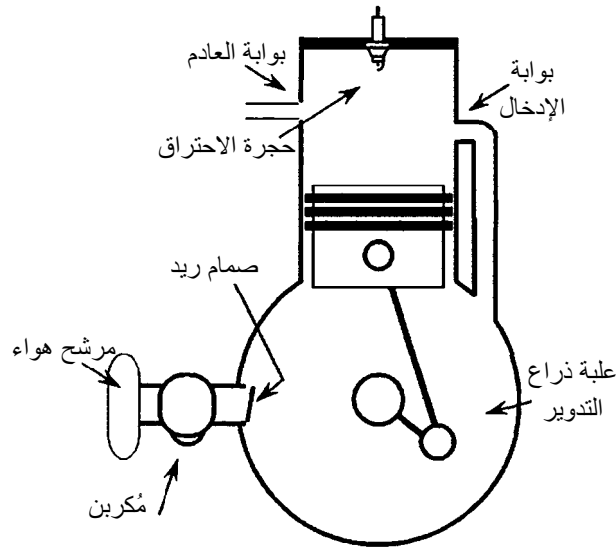
ويدفع هذا الضغط المكبس إلى الأسفل ضمن الأسطوانة. ويسمى هذا الشوط بشوط الاستطاعة، وهو الشوط الذي تتحوّل فيه طاقة الوقود الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية.

وقبل وصول المكبس إلى أسفل الأسطوانة في شوط الاستطاعة، يفتح صمام العادم، وتبدأ غازات نواتج الاحتراق بالخروج منها. وحين عودة المكبس باتجاه الأعلى، تُطرَد بقايا نواتج الاحتراق عبر صمام العادم الذي يكون مفتوحاً حينئذ. وهذا هو شوط العادم. وفي هذه اللحظة، يفتح صمام الإدخال وتكرر العملية. وبذلك تكون أربعة أشواط للمحرك ودورتان لعمود المرافق قد حصلت.

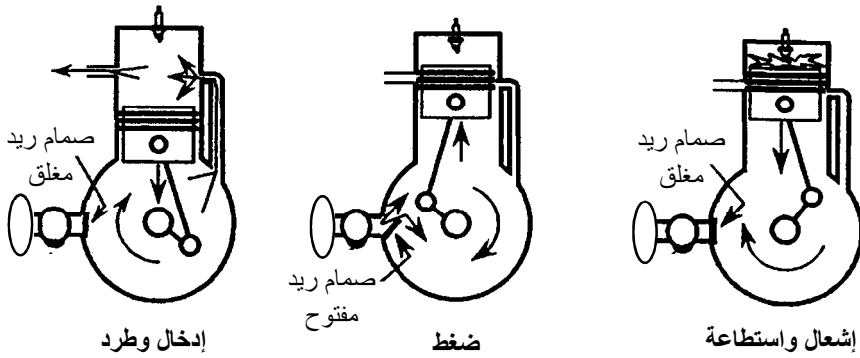
2.3.5 الدورة الثنائية الأشواط

تحصل خطوات التشغيل الثمانية في المحرك الثنائي الأشواط (الذي شاعت تسميته بالمحرك الثنائي الدورات) خلال شوطين للمكبس ودورة واحدة لعمود

المُرافق فقط. وثمة فرقان مهمان بين المحركات الثنائية والرباعية الأشواط، وخاصة من حيث طريقة بناء المحرك. وسوف نستعمل الشكل 4.5 لتوضيح الوظائف الرئيسية للتصاميم الشائعة. في المحرك الثنائي الأشواط، يوصل المُكربن مع علبة ذراع التدوير، وليس ثمة من صمامات إدخال أو عادم. بدلاً من ذلك، تدخل الغازات إلى الأسطوانة وتخرج منها عبر بوابتين في جدار الأسطوانة في أثناء انكشافهما وتغطيتهما بحركة المكبس. انظر الشكل 3.5.



الشكل 3.5 أجزاء المحرك الثنائي الأشواط.



الشكل 4.5 دورة ثنائية الأشواط.

ادرس الشكل 4.5 والوصف التالي لتسلسل لأحداث كي تفهم المحرك الثنائي الأشواط. هنا، يحصل إدخال المزيج وطرْد نواتج الاحتراق في الوقت نفسه تقريباً. سوف نبدأ وصف الدورة بعد بدء الاحتراق. حين ابتعاد المكبس عن رأس الأسطوانة، يكشف أولاً بوابة العادم. ويؤدي ضغط الاحتراق إلى عملية طرد نواتج الاحتراق. وبعد ابتعاد المكبس عن رأس الأسطوانة، يُغلق صمام ريد (Reed Valve). وهذا يرفع الضغط ضمن علبة ذراع التدوير. ومع استمرار المكبس بالحركة، يكشف بوابة الإدخال، فيتدفق مزيج الهواء والوقود المضغوط الموجود في علبة ذراع التدوير إلى الأسطوانة. وبذلك تُدخّل شحنة الهواء والوقود التالية كي تحترق وتساعد على طرد نواتج الاحتراق.

وباستمرار تحرك المكبس باتجاه أعلى الأسطوانة، تُغلق بوابة الإدخال، وتتبعها بوابة العادم. وبعد اكتمال تغطية بوابة الإدخال، تؤدي حركة المكبس المستمرة نحو الأعلى إلى انخفاض الضغط في علبة ذراع التدوير، فيتدفق

مزيج الهواء والوقود من المكربن عبر صمام ريد إلى علبة ذراع التدوير. وعندما تُغلق بوابة العادم ويستمر المكبس بالحركة نحو أعلى الأسطوانة، يحصل الانضغاط.

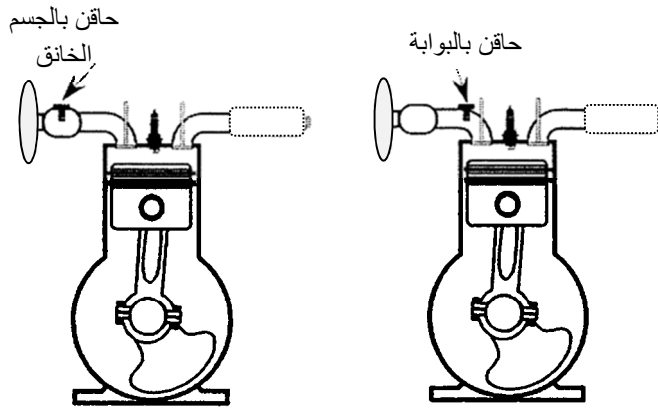
وتقدح شمعة الاحتراق شرارة، ويصل المكبس إلى النقطة الميتة العليا، ويحصل الاحتراق، فيزداد الضغط بسرعة كبيرة ضمن الأسطوانة. يوصف هذا بأنه حدث الاشتعال وتوليد الطاقة. وعندما يبتعد المكبس عن أعلى الأسطوانة بقدر كاف لكشف بوابة العادم، تبدأ الدورة من جديد.

إذا عدّدت حركات المكبس، وجدت أنه قد تحرك شوطين، أي أن عمود المرافق قد دار دورة واحدة. ونظراً إلى أن عملية إدخال مزيج الوقود والهواء وعملية طرح نواتج الاحتراق ليستا بكفاءة العمليتين المناظرتين لهما في المحرك الرباعي الأشواط، فإن المحرك الثنائي الأشواط يولّد استطاعة أقل لكل شوط. لكنّ نظراً إلى وجود عملية احتراق وتوليد طاقة مع كل دورة لعمود المرافق، فإن الطاقة الكلية المتولّدة في هذا المحرك تضاهي تلك التي يولّدها المحرك الرباعي الأشواط.

4.5 أنواع المحركات

الفئتان الرئيسيتان للمحركات هي محركات الإشعال بالشرارة (دورة أوتو) والإشعال بالضغط (دورة ديزل). وفي محرك الإشعال بالشرارة، تُحدّد كمية الوقود وتُدخّل إلى المحرك بواسطة مكربن أو منظومة حقن. انظر الشكل 5.5. وحين استعمال المُكربن، يجري تحديد كمية الوقود بواسطة فوهات نفث فيه ويُضاف الوقود إلى الهواء في أثناء تدفقه عبر عنق المكربن. ويحصل المزج

حين جريان الوقود والهواء عبر منظومة الإدخال ودخولهما إلى الأسطوانة. وتُشعل شمعة الاحتراق مزيج الهواء والوقود في اللحظة المناسبة.

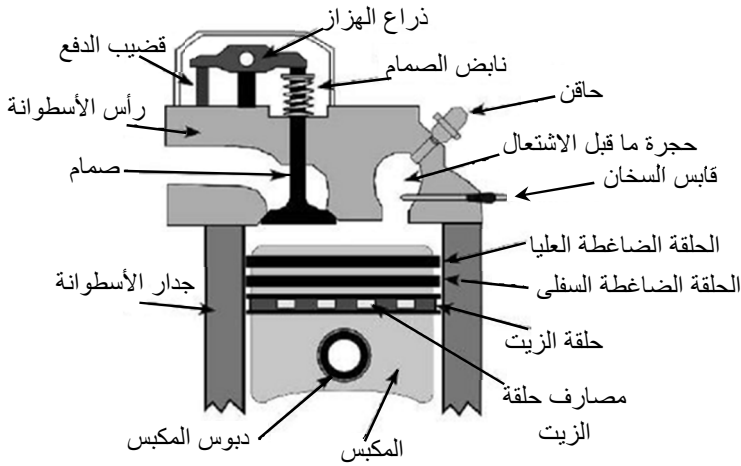


الشكل 5.5 حاقن بالجسم الخانق وحاقن بالبوابة.

وتحسّن منظومات الحقن مردود الوقود في محركات البنزين لأنّ المُحساسات المتعددة والحاسوب تستطيع تلبية احتياجات المحرك من الوقود على نحو أفضل. تاريخياً، قصّرت التكلفة الإضافية لمنظومة الحقن، مقارنة بتكلفة منظومة المكربن، استعمالها على المحركات الكبيرة المتعددة الأسطوانات، لكن ازدياد تكاليف الوقود وتشريعات الحد من التلوث الجوي كانت الحافز على زيادة استعمال منظومات حقن الوقود في المحركات الصغيرة. إن المحرك الذي يستعمل الحقن لا يحتوي على مكربن، بل يُحقن الوقود في تيار الهواء عند فوهة النفث أو بوابة الإدخال. وفي بعض المحركات، يوضع حاقن واحد عند الجسم الخانق (حقن بالجسم الخانق) الذي يحل محل المكربن. ويقدم هذا الحاقن وقوداً لجميع الأسطوانات. وفي منظومة الحقن بالبوابة، يوضع الحاقن على صمام الإدخال من الخارج، وينتهي هذا الصمام إلى بوابات جميع

الأسطوانات. ويقدم الحاقن مع مضخة الحقن المقدار المطلوب من الوقود إلى الأسطوانات. ويخرج الهواء والوقود في أثناء سيلانها إلى الأسطوانة. إن المهندسين مستمرين في العمل على تطوير تقانة الحقن المباشر لمحركات البنزين، وقد بدأ استعمال هذه التقانة في محركات السيارات.

وفي محركات الإشعال بالضغط (محركات الديزل)، يُحقن الوقود مباشرة في حجرة الاحتراق. انظر الشكل 6.5. ويؤقت الحقن بحيث يحصل مباشرة قبل وصول المكبس إلى أعلى الأسطوانة في شوط الضغط. ويحصل الاحتراق فوراً تقريباً لأن الضغط يجعل درجة حرارة المزيج ضمن حجرة الاحتراق ترتفع إلى 1000 درجة فهرنهايت أو أكثر. لذا ليس ثمة حاجة إلى شمعة احتراق لإشعاله. وتتحكم مضخة الحاقن في مقدار الوقود الذي يُقدم إلى كل أسطوانة.



الشكل 6.5 أجزاء محرك الديزل.

5.5 الإزاحة

الإزاحة هي الحجم الأسطواني الذي يُزيحه المكبس حين حركته في أثناء شوط واحد. وهي تساوي مساحة رأس المكبس مضروبة بطول الشوط، وتُعتبر أحد العوامل التي تحدّد مقدار الاستطاعة التي يولّدها المحرّك. وكلما كانت الإزاحة أكبر، كان حجم الهواء والوقود الذي يُحرق أكبر، وكانت الاستطاعة الناتجة أكبر. وتُعطى إزاحة المكبس بالمعادلة التالية:

$$PD = \frac{\pi \times B^2}{4} \times S$$

حيث PD هي إزاحة المكبس مقدّرة بالإنش المكعب، و B هو قطر الأسطوانة الداخلي مقدراً بالإنش، و S هو طول شوط المكبس مقدراً بالإنش.

ومن المتعارف عليه التعبير عن قطر الأسطوانة وطول الشوط بـ $B \times S$ ، وكل منهما يقدر بالإنش. حينئذ، إذا كان $B \times S = 3.5 \times 4.00$ ، فإن إزاحة المكبس تساوي:

$$PD = \frac{\pi \times B^2}{4} \times S = \frac{\pi \times (3.50 \text{ in})^2}{4} \times 4.00 \text{ in} \\ = 38.46 \dots \text{ or } 38.5 \text{ in}^3$$

تُصنع المحركات الكبيرة بأكثر من أسطوانة. وفي حالة المحركات المتعددة الأسطوانات، يُستعمل المصطلح إزاحة المحرك (Engine Displacement)، وهي تساوي جداء إزاحة الأسطوانة في عدد الأسطوانات. أي:

$$ED = PD \times n$$

حيث ED هي إزاحة المحرك مقدرة بالإنش المكعب، و n هو عدد الأسطوانات.

إذا احتوى محرك المثال السابق على أربع أسطوانات، كانت إزاحة المحرك:

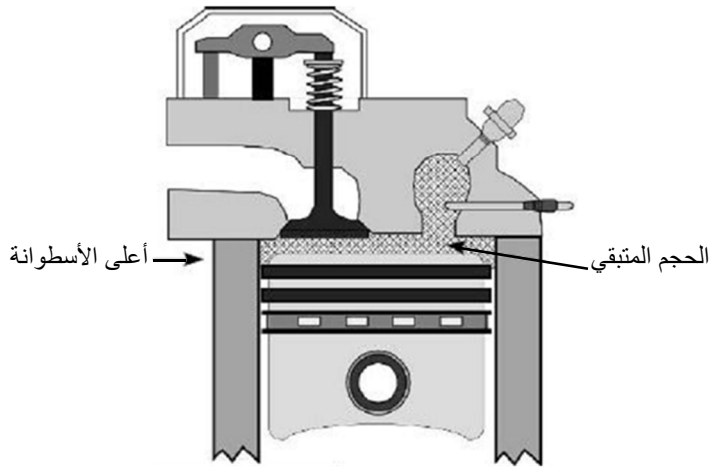
$$ED = PD \times n = 38.5 \times 4 = 154 \text{ in}^3$$

ومن المعتاد ضم المعادلتين السابقتين معاً:

$$ED = \frac{\pi \times B^2 \times S}{4} \times n$$

6.5 نسبة الانضغاط

تساوي نسبة الانضغاط نسبة الحجم الكلي للأسطوانة إلى الحجم المتبقي. والحجم المتبقي هو حجم حجرة الاحتراق عندما يكون المكبس عند أعلى الأسطوانة. انظر الشكل 7.5. ويساوي حجم الأسطوانة الكلي الحجم المتبقي إضافة إلى الإزاحة.



الشكل 7.5 حجم الأسطوانة المتبقي.

تُعتبر نسبة الانضغاط من الخواص المميزة للمحرك من حيث كفاءته ومردوده، أي قدرته على تحويل طاقة الوقود الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية. وكلما كانت نسبة الانضغاط أعلى، كانت كفاءة المحرك أعلى. ونسبة الانضغاط العظمى التي يمكن تحقيقها هي تابعة لنوع الوقود ولمتانة مكونات المحرك. ونسبة الانضغاط التي تساوي نحو 7-1:8 شائعة في محركات البنزين ، والنسبة 15-1:22 شائعة في محركات الديزل. أما معادلة نسبة الانضغاط فهي:

$$CR = \frac{PD + CV}{CV}$$

حيث CR هي نسبة الانضغاط، و PD هي إزاحة المكبس مقدرة بالإنش المكعب، و CV هو الحجم المتبقي مقدراً بالإنش المكعب.

مسألة: ما نسبة الانضغاط في محرك ذي أسطوانة واحدة فيها $B \times S = 3.75 \times 3.25$ مع حجم متبقٍ يساوي 6.20 إنشات مكعب؟

الحل: الخطوة الأولى هي حساب إزاحة المكبس:

$$PD = \frac{\pi \times B^2}{4} \times S \times n = \frac{\pi \times (3.25 \text{ in})^2}{4} \times 3.75 \times 1$$

$$= 31.08 \dots \text{or } 31.1 \text{ in}^3$$

وتساوي نسبة الانضغاط:

$$CR = \frac{31.1 \text{ in}^3 + 6.2 \text{ in}^3}{6.2 \text{ in}^3} = 6.01$$

لاحظ أنه لا توجد وحدات للجواب. للحصول على نسبة من دون وحدات، يجب

أن تكون وحدات البسط والمقام متماثلة، ولذا تتفانى معاً. ويُعبّر عن نسبة الانضغاط 6.0 بالشكل 6.0:1.

7.5 الاستطاعة النظرية

عرّفنا الاستطاعة النظرية في الفصل السابق بأنها الحصان البخاري القائم على قطر الأسطوانة وضغطها وسرعة المحرك. يُري الشكل 8.5 منحنيًا نموذجيًا لضغط الأسطوانة في محرك يدخل الهواء إليه بقوة الضغط الجوي الطبيعي. وفي أثناء شوط الإدخال، يكون الضغط داخل الأسطوانة أقل من الضغط الجوي. ويبدأ الضغط بالارتفاع عندما يبدأ شوط الانضغاط ويقفز بسرعة عند الاحتراق. وفي أثناء شوط الاستطاعة وشوط العادم، ينخفض ضغط الأسطوانة ليصبح مساوياً للضغط الجوي. ويُستعمل الضغط الوسطي على مدى الدورة بكاملها لحساب استطاعة المحرك.

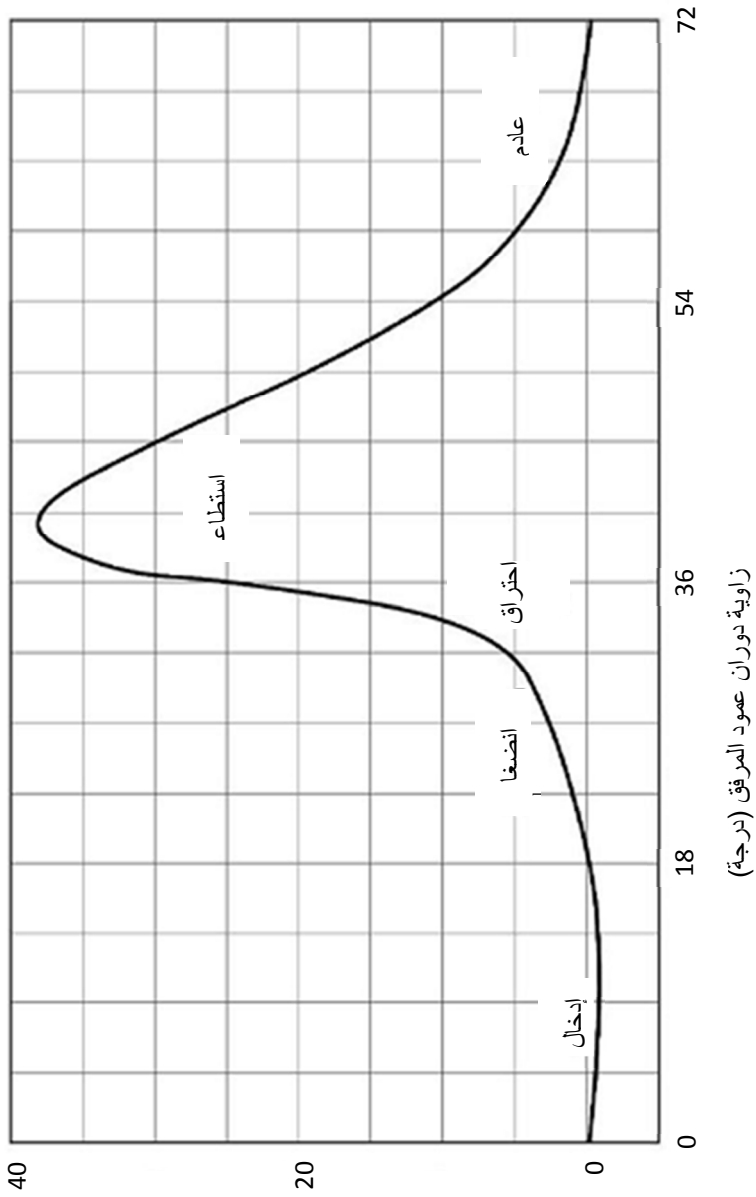
يمكن تحديد الاستطاعة النظرية أو الكلية باستعمال ضغط الأسطوانة الوسطي الفعال. والاستطاعة النظرية أو الكلية هي الاستطاعة التي يولدها المحرك بحرق الوقود، ولا تُؤخذ في الحسبان فيها مفاقد الاحتكاك وسواها. ويمكن تحديد ضغط الأسطوانة الوسطي الفعال من المنحني البياني، إلا أن هذه الحسابات خارج نطاق المستوى الرياضي لهذا الكتاب. أما معادلة حساب الاستطاعة النظرية بالحصان البخاري لمحرك رباعي الأشواط فهي:

$$E_{hp} = \frac{P \times S \times A \times N}{33,000 \times 2} \times n$$

أما في حالة المحرك الثنائي الأشواط فهي:

$$E_{hp} = \frac{P \times S \times A \times N}{33,000} \times n$$

-



ضغط الأسطوانة (باسكال للإنش)

الشكل 8.5 مثال لضغط الأسطوانة.

حيث P هو الضغط الوسطي الفعال مقدراً بالباسكال للإنش المربع، و S هو الشوط بالقدم، و A هي مساحة رأس المكبس بالإنش المربع، و N هي سرعة الدوران مقدرة بالدورة في الدقيقة، و n هو عدد الأسطوانات. ملاحظة: وحدة الشوط في هاتين المعادلتين هي القدم، ولذا تتفانى مع وحدة القدم في الثابت 33,000.

مسألة: حدّد الاستطاعة النظرية، مقدّرة بالحصان البخاري، لمحرك رباعي الأشواط ذي أسطوانة واحدة ويساوي الضغط الوسطي الفعال فيه 152.0 باسكال للإنش المربع. يساوي قطر الأسطوانة 2.75 إنش، ويساوي طول الشوط 2.65 إنشين، وتساوي سرعة دوران المحرك 3,000 دورة في الدقيقة.

الحل: تساوي استطاعة المحرك الرباعي الأشواط ذي الأسطوانة الواحدة:

$$E_{hp} = \frac{P \times S \times A \times N}{33,000 \times 2} \times n$$

$$= \frac{152.0 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times (2.65 \text{ in} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}}) \times \left(\pi \times \left(\frac{2.75 \text{ in}}{2} \right)^2 \right) \times 3000 \text{ rpm}}{33,000 \times 2} \times 1$$

$$= \frac{152 \times 0.22083 \dots \times 5.939 \dots \times 3,000}{66,000}$$

$$= \frac{598,115.026}{66,000} = 9.0623 \dots \text{ or } 9.06 \text{ hp}$$

8.5 مسائل بالوحدات المترية

وحدة استطاعة المحرك في المنظومة المترية هي الكيلو واط. ويقدر قطر الأسطوانة وطول الشوط بالمليمتر. وتقدر الإزاحة الحجمية بالليتر، ويعادل

الليتر الواحد 1,000 سنتيمتر مكعب أو 1,000,000 مليمتر مكعب. ويقدر الضغط بالكيلو باسكال. وتعطى استطاعة المحرك مقدرة بالكيلو واط بالمعادلة التالية:

$$E_{kw} = \frac{P \times S \times A \times N}{60,000 \times 2} \times n$$

حيث P هو الضغط مقدراً بالباسكال، و S هو الشوط مقدراً بالمتر، و A هي مساحة رأس المكبس مقدرة بالمتر المربع، و N هي سرعة الدوران مقدرة بالدورة في الدقيقة.

مسألة: حدد استطاعة المحرك النظرية بالكيلو واط عندما يساوي الضغط الوسطي الفعال فيه 1,050 كيلو باسكال. المحرك رباعي الأشواط، وهو ذو ثلاث أسطوانات، ويساوي قطر الأسطوانة فيه 109 مليمترات، وطول الشوط 115 مليمترًا، وتساوي سرعة الدوران 3,000 دورة في الدقيقة.

الحل: نحول أولاً الوحدات إلى الوحدات المترية الأساسية:

$$P = 1,050 \text{ kPa} = 1,050 \text{ kPa} \times \frac{1,000 \text{ Pa}}{1 \text{ kPa}} = 1,050,000 \text{ Pa}$$

$$B = 109 \text{ mm} = 109 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1,000 \text{ mm}} = 0.109 \text{ m}$$

$$S = 115 \text{ mm} = 115 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1,000 \text{ mm}} = 0.115 \text{ m}$$

ثم نحسب مساحة رأس المكبس:

$$A(\text{m}^2) = \pi \times \frac{B^2}{4} = \pi \times \frac{(0.109 \text{ m})^2}{4} = 0.0093313 \dots \text{ or } 0.00933 \text{ m}^2$$

وفي النهاية نحسب الاستطاعة مقدرة بالكيلو واط:

$$\begin{aligned}
E_{kw} &= \frac{P \times S \times A \times N}{60,000 \times 2} \times n \\
&= \frac{1.050 \text{ E6 Pa} \times 0.115 \text{ m} \times 0.009331 \text{ m}^2}{120,000} \times 3 \\
&= \frac{3380269.069}{120,000} \\
&= 28.163 \dots \text{ or } 28.2 \text{ kW}
\end{aligned}$$

مسألة: احسب نسبة الضغط في محرك المسألة السابقة بافتراض أن الحجم المتبقي يساوي 0.063124 ليتر.

الحل: نظراً إلى أننا نحسب نسبة، فإنه يمكن استعمال أي مجموعة منسجمة من الوحدات. تُقدَّر إزاحة المحرك عادة بالليتر، ولذا تُحوَّل الإزاحة الحجمية في هذا المثال إلى لترات لأن الحجم المتبقي معطى بالليترات.

ابداً بحساب إزاحة المكبس الحجمية:

$$\begin{aligned}
PD(L) &= S \times \pi \times \frac{B^2}{4} \times \frac{1 \text{ L}}{1.0 \text{ E} - 3 \text{ m}^3} \\
&= \frac{0.00429240516}{4.0 \text{ E} - 3} \\
&= 1.0731 \dots \text{ or } 1.07 \text{ L}
\end{aligned}$$

ثم احسب نسبة الضغط:

$$\begin{aligned}
CR &= \frac{PD + CV}{CV} \\
&= \frac{1.07 \text{ L} + 0.063124 \text{ L}}{0.063124 \text{ L}} \\
&= 17.950 \dots \text{ or } 18:1
\end{aligned}$$

6.

مجموعة نقل الحركة

1.6 الأهداف

1. التمكن من وصف مجموعات آليات نقل الحركة بالمسننات والهواء المضغوط والسوائل.
2. التمكن من تحديد المقاس المناسب للبكرات والدواليب المسننة والتروس.
3. التمكن من استعمال نسب السرعات لتحديد مقاسات البكرات والدواليب المسننة والتروس.
4. التمكن من تحديد سرعة واتجاه الدوران في أي نقطة من مجموعة آلية نقل الحركة.
5. فهم العلاقة بين السرعة والعزم.
6. التمكن من تحديد العزم والاستطاعة في أي نقطة من مجموعة آلية نقل الحركة.
7. التمكن من حساب الحركة وتغيرات القوة في آلية نقل الحركة الهيدروليكية.

2.6 تقديم

في بعض التطبيقات، ومنها آلة جز العشب التي تُدفع باليد والتي تعمل بمحرك ذي عمود مرافق شاقولي، تُستعمل الاستطاعة الميكانيكية في مكان

توليدها. فشفرة الجُرّ مرتبطة مباشرة بنهاية عمود المرافق. إلا أن معظم الآلات تحتاج إلى منظومة أكثر تعقيداً لنقل الاستطاعة الميكانيكية من المنبع إلى الحمل. يُضاف إلى ذلك أن كثيراً من الآلات يتطلب أن يكون بالإمكان تعديل الاستطاعة التي يولدها محرك كهربائي أو محرك احتراق داخلي أو نقلها إلى جزء آخر من الآلة. ويمكن هذه التعديلات أن تتضمن تغيير سرعة الدوران أو اتجاهه ومكان استعمال الاستطاعة. وتسمى مجموعة المكونات التي تُستعمل لتحقيق ذلك مجموعة آلية نقل الحركة (Power Train) (الاستطاعة). وفي الآلات الزراعية المعقدة التي من مثل الحصادة، يجب تعديل الاستطاعة أيضاً مرات عدة لتحقيق احتياجات مكّونات الآلة المختلفة.

يمكن تحقيق نقل الاستطاعة باستعمال منظومة مسننات ميكانيكية، أو منظومة هيدروليكية، أو كهربائية، أو منظومة هواء مضغوط. وفي ما يخص المنظومات الميكانيكية فهي شديدة الاختلاف، ولذا سوف نناقشها كلاً على حدة. أما المنظومات السائلية ومنظومات الهواء المضغوط فهي متشابهة إلى حد يمكن من مناقشتها معاً. وأما المنظومات الكهربائية، فلن نناقشها في هذا الكتاب. تُستعمل في كل من المنظومات المذكورة وسائل مختلفة لتحقيق تعديلات الاستطاعة وإيصالها إلى أماكن استعمالها، ولكل من تلك الوسائل مزاياها وعيوبها. وسوف نشرح في المقاطع التالية كيفية عمل منظومات آلية نقل الحركة. **ملاحظة:** ليست تلك المنظومات مثالية، أي إن مردودها لا يساوي 100% في نقل الاستطاعة، ومع ذلك سوف نهمل ضياعات الاستطاعة في المناقشات التالية لتسهيل فهم وظائف تلك المنظومات.

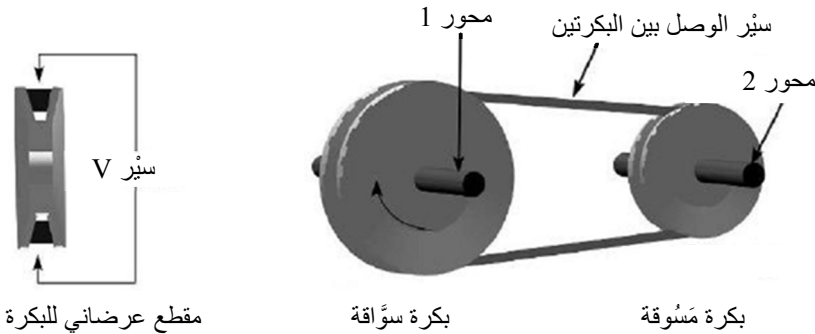
3.6 المنظومات الميكانيكية

تتألف منظومات آليات نقل الحركة الميكانيكية من بكرات ودواليب مسننة

ومسندات ومَحامل ومحاور (أعمدة) وغيرها من المكونات الكثيرة التي تُستعمل في نقل الاستطاعة الميكانيكية إلى أجزاء الآلة المختلفة، وفي تعديلها بحيث تحقق متطلبات تلك الأجزاء، فقد تكون ثمة حاجة إلى تغيير السرعة أو اتجاه الدوران أو عزم الدوران. وفي المقاطع التالية سوف نستعرض بعض مبادئ مجموعات آليات نقل الحركة الميكانيكية ونقدّم أمثلة لكيفية استعمال تلك المبادئ.

1.3.6 البكرات

تُستعمل البكرات V (أي التي يتَّخذ المقطع العرضي لمحيطها الشكل V) مع سيور V (يتَّخذ المقطع العرضي للسيّر الشكل V) لأن الشكل V يزيد من الاحتكاك بين السيّر والبكرة، ويؤدي إلى نقل أكفأ للاستطاعة. ويتألف ناقل الحركة ذو السيّر دائماً من بكرتين على الأقل، هما البكرة السوّاقة، والبكرة المَسوّقة. انظر الشكل 1.6 الذي يبيّن بكرتين مثبتتين على محورين ويصل بينهما سيّر.



الشكل 1.6 أجزاء منظومة سيّر V .

عند تطبيق عزم دوران على محور البكرة السوّاقة وجعله يدور وفقاً لما يُشير

إليه السهم المرسوم عليها في الشكل 1.6، تنشأ قوة شد في السيّر. فإذا تجاوزت قوة الشد حمل (عزم) البكرة المَسُوقة وقوة احتكاك المجموعة، أدت إلى دوران تلك البكرة المسوقة مع محورها. ويمكن مجموعة نقل الحركة هذه أن تحتوي على أكثر من بكرتين، وحينئذ تكون واحدة منها هي السَّوَّاقَة، وتكون الأخريات مَسُوقَات.

إذا كان قطر البكرة السَّوَّاقَة في الشكل 1.6 يساوي 10.0 إنشات، ودارت بسرعة تساوي 100.0 دورة في الدقيقة، وكان قطر البكرة المَسُوقَة 5.0 إنشات، أمكننا تحديد سرعة دوران البكرة المَسُوقَة (مع محورها)، لأن جداء قطر البكرة السَّوَّاقَة في سرعة دورانها يساوي جداء قطر البكرة المَسُوقَة في سرعة دورانها. ويُعبَّر عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$D_1 \times N_1 = D_2 \times N_2$$

حيث D هو قطر البكرة و N هو عدد الدورات في الدقيقة.

وهذه العبارة صحيحة لأن السرعة الخطية (المقدَّرة بالقدم في الدقيقة) للسيّر تبقى ثابتة. بإعادة ترتيب المعادلة السابقة، يمكننا تحديد سرعة دوران البكرة المَسُوقَة:

$$N_2 = \frac{D_1 \times N_1}{D_2} \text{ or } \frac{D_1}{D_2} \times N_1$$

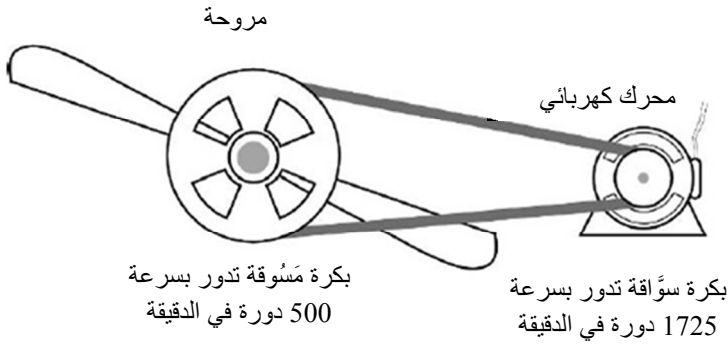
وباستعمال قيم المثل السابق:

$$N_2 = \frac{10.0 \text{ in} \times 100 \text{ rpm}}{5.0 \text{ in}} = 200 \text{ rpm}$$

إذا فهمت المعادلة السابقة أمكنك القول بثقة أنه عندما تكون البكرة المَسُوقَة

أصغر من السَّوَّاقَة، فإن سرعة دورانها سوف تكون أكبر من سرعة السَّوَّاقَة، والعكس صحيح. لذا، وبالتحري البصري والتعليل الحدسي يجب أن نستطيع معرفة إن كانت مجموعة بكرات نقل الحركة سوف تزيد أو تخفض السرعة. ولتحديد مقدار التغيُّر الفعلي استعمل معادلة البكرة.

يُري الشكل 2.6 أحد تطبيقات هذا المبدأ في بكرة سَوَّاقَة لمروحة، وتُستعمل مراوح التهوية الكبيرة التي من هذا النوع في البيوت الزجاجية وحظائر الحيوانات وغيرها من التطبيقات الزراعية.



الشكل 2.6 تحديد قطر البكرة المجهول.

مسألة: افترض أن لديك مروحة ومحركاً كهربائياً. والمروحة مصممة للعمل بسرعة 500 دورة في الدقيقة، ويدور المحرك بسرعة 1725 دورة في الدقيقة. ما مقاسا البكرتين اللازمتين لتشغيل المروحة؟

الحل: أولاً، وبالتعليل الحدسي نعرف أن التغيُّر الكبير في السرعة يقتضي اختلافاً كبيراً في قطري البكرتين. ثانياً، ونعرف أيضاً أن معادلة البكرات تشتمل على أربعة متغيّرات، ونحن لا نعرف سوى اثنين منها، هما سرعتا البكرتين.

لذا، لإيجاد الجواب علينا افتراض قيمة لقطر إحدى البكرتين ومن ثمَّ حساب قطر الأخرى.

يمكننا البدء بافتراض قيمة لقطر بكرة المروحة، لكن نظراً إلى أن سرعة المروحة (أي سرعة البكرة المَسْوَقة) أصغر من سرعة المحرك (البكرة السَّوَقة)، فإننا نعرف أن قطر بكرة المحرك سوف يكون أصغر من قطر بكرة المروحة. وإذا اخترنا بكرة للمروحة صغيرة جداً، أمكن قطعاً بكرة المحرك أن يكون أصغر مما يمكن تحقيقه عملياً. لذا نبدأ بافتراض قيمة لقطر بكرة المحرك ثم نحسب قطر بكرة المروحة. باختيار بكرة محرك قطرها يساوي 2.5 إنشين، يمكن تحديد قطر بكرة المروحة بعد إعادة ترتيب معادلة البكرات:

$$D_2(\text{fan}) = \frac{D_1(\text{motor}) \times N_1}{N_2} = \frac{2.5 \text{ in} \times 1725 \text{ rpm}}{500 \text{ rpm}}$$

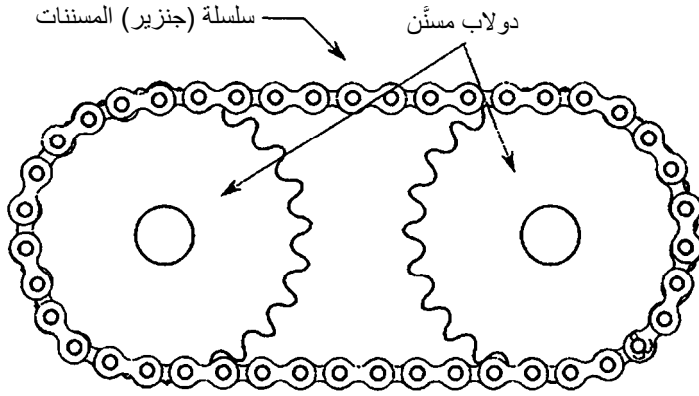
$$= 8.625 \text{ in or } 8\frac{5}{8} \text{ in}$$

مروحة: fan؛ محرك كهربائي: motor. ونظراً إلى أن البكرات تُصنع بأقطار بفوارق محدّدة من مضاعفات كسور الإنش، تُستعمل بكرة قطرها يساوي $8\frac{5}{8}$ إنش.

لاحظ أن نسبة قطري البكرتين D_2/D_1 تساوي نسبة سرعتيهما $N_1/N_2 = 3.45$. لذا، وإذا كان القطر 2.5 إنشين غير متوافر لبكرة المحرك لأي سبب، فإن أي بكرتين يحقق قطرها النسبة 3.45 (أو 3.5 تقريباً) تحققان السرعة المطلوبة. على سبيل المثال، البكرتان اللتان يساوي قطرها 2.5 و 8.625 إنشين، أو 17.25 و 5.0 إنشات، أو 34.5 و 10.0 إنشات تعطيان مقدار التغيّر نفسه في السرعة. تسمى نسبة قطري البكرتين هذه بنسبة السرعة وسوف نناقشها بمزيد من التفصيل في ما بعد في هذا الفصل.

2.3.6 مقاسات الدواليب المسننة

تتصف الدواليب المسننة وسلاسل (جنازير) المسننات (انظر الشكل 3.6) بميزتين مقارنة بالبكرات والسيور. فهي أقدر على نقل كميات أكبر من الاستطاعة، ونظراً إلى أن السلسلة لا تنزلق، تبقى الدواليب المسننة متزامنة.



الشكل 3.6 دولابان مسننان مع سلسلة.

يمكن استعمال معادلة البكرات لتحديد أقطار الدواليب المسننة، وذلك بالاستعاضة عن قطر البكرة بعدد أسنان الدولاب. حينئذ تصبح المعادلة بالصيغة التالي:

$$T_1 \times N_1 = T_2 \times N_2$$

مسألة: سوف تُشغَّل مضخة هيدروليكية بواسطة محرك جرّار. ويجب أن تدور المضخة بسرعة 2100 دورة في الدقيقة، ويدور محرك الجرّار بسرعة 540 دورة في الدقيقة. فما هو عدد أسنان الدولابين اللازمين لربطهما معاً؟

الحل: هذه المسألة تماثل المسألة السابقة التي حدّدنا فيها قطري البكرتين اللّازمتين لتشغيل المروحة. لذا فإن الخطوة الأولى هي اختيار عدد أسنان أحد الدّولابين. في هذا المثال، عدد أسنان الدّولاب المَسُوق (دولاب المضخة) أصغر من عدد أسنان الدّولاب السّوّاق (دولاب عمود التدوير الخلفي في الجرّار). وسوف نبدأ باختيار 18 سنّاً لدولاب المضخة، فيكون عدد أسنان دولاب محرك الجرّار:

$$T_1 = \frac{T_2 \times N_2}{N_1} = \frac{18 \text{ teeth} \times 2100 \text{ rpm}}{540 \text{ rpm}} = 70 \text{ teeth}$$

سن:(Teeth). سوف تدور المضخة بالسرعة المطلوبة إذا كان عدد أسنان دولاب محرك الجرّار يساوي 70 سنّاً.

3.3.6 مقاسات التروس

من الشائع استعمال التروس (المسنّات) في مجموعات نقل الحركة عندما تكون المحاور قريبة جداً من بعضها، وعندما تُثقل كميات كبيرة من الاستطاعة، وحيثما تكون ثمة حاجة إلى تغيير نسب السرعات. وتحدّد مقاسات التروس بالطريقة نفسها المستعملة في تحديد مقاسات السلاسل والدواليب المسنّنة، وتُستعمل معادلة الدواليب المسنّنة من دون تعديل.

4.6 نسب السرعات

في بعض الحالات عندما تكون سرعات المحاور السّوّاقة والمَسُوقة معروفة، يمكن تحديد مقاسات البكرات والدواليب المسنّنة والتروس باستعمال نسب

السرعات بدلاً من معادلتَي البكرات والدواليب المسننة.

في المسألة السابقة، وجدنا أن ثمة حاجة إلى دولاب مسنن ذي 70 سنّاً لتشغيل المضخة. ويتصف الدولاب المسنن ذو السبعين سنّاً بقطر كبير، وقد يكون أكبر من أن يُستوعَب في جرّار صغير. فهل هذا يعني أنه لا يمكن تشغيل المضخة بواسطة محرك الجرّار؟

الحل هو استعمال دولاب مسنن أصغر مع المضخة ثم تحديد مقاس الدولاب الضروري لمحور التدوير الخلفي (مأخذ الاستطاعة) في الجرّار. وقد رأينا في المسألة الأصلية أن دولابين مسننين عدد أسنانهما يساوي 18 و 70 سنّاً يحققان السرعة المطلوبة. بذلك نعلم أن نسبة عددي أسنان الدولابين تساوي 18/70 أو 1.3:9. بكلمات أخرى، يجب أن يكون عدد أسنان دولاب الجرّار المسنن أكبر بنحو أربع مرات من عدد أسنان دولاب المضخة. بمعرفة نسبة سرعتي المحورين، يمكن استعمال تراكيب مختلفة من الدواليب المسننة:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{70}{18} \quad \text{or} \quad \frac{35}{9} \quad \text{or} \quad \frac{43}{11} = 3.9$$

في الحالات التي من هذا النوع، ليس من الضروري أن تكون النسبة دقيقة تماماً كي تعمل المنظومة. فمضخة الماء التي تعمل بسرعة أكبر قليلاً أو أصغر قليلاً، بسبب عدم توافر دواليب مسننة بالنسبة الدقيقة، تؤدي المهمة على نحو ملائم عادة.

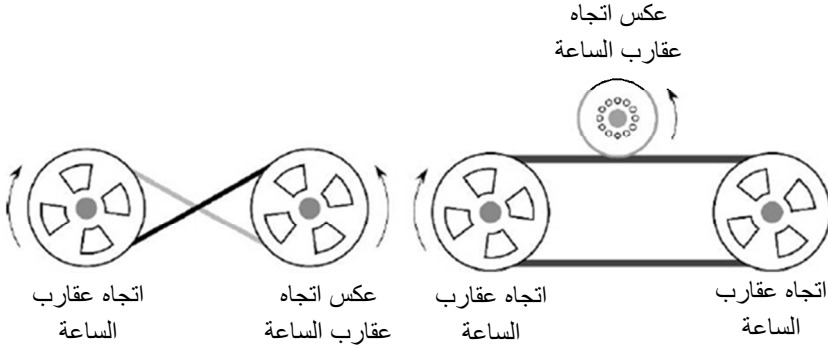
إن معرفة نسبة السرعة تسهّل اختيار تراكيب الدواليب المسننة التي تشغّل المضخة بالسرعة المطلوبة ويمكن استيعابها ضمن الآلة.

5.6 اتجاه الدوران

بيّنت أمثلة المقطع السابق أن من استعملات آلية نقل الحركة تغيير السرعة بين محورين أو مكُونين أو أكثر. وثمة وظيفة أخرى لمجموعات نقل الحركة هي تغيير اتجاه الدوران. ففي كثير من التطبيقات، يمكن محوراً أو مكُوناً أن يدور بالاتجاه المعاكس لاتجاه دوران السوّاقَة. ويوصف اتجاه الدوران بأنه مطابق لاتجاه دوران عقارب الساعة أو معاكس لاتجاه دوران عقارب الساعة، وذلك حين النظر إلى نهاية المحور. ويمكن تغيير اتجاه الدوران باستعمال البكرات والسيور والسلاسل والدواليب المسننة والتروس (المسننات). وفي ما يلي سوف نستعرض كل تلك الطرائق.

1.5.6 السيور والبكرات

يمكن استعمال تقنيتين مختلفتين لتغيير اتجاه الدوران. انظر الشكل 4.6. لاحظ أن فتل السيّر يغيّر اتجاه الدوران. وهذه التقنية مقبولة إذا كانت ثمة مسافة كافية بين البكرتين، وكانت سرعة السيّر صغيرة، وكان مقدار الاستطاعة المنقولة ليس كبيراً. لكن احتكاكاً يحصل في وسط السيّر، ويزداد ذلك الاحتكاك مع ازدياد السرعة والاستطاعة، مقصّراً من عمر السيّر.



الشكل 4.6 تغيير اتجاه الدوران باستعمال السيّر.

وتُغيّر إضافة بكرة ثالثة اتجاه الدوران أيضاً. في هذه الحالة، يُستعمل سيّر ذو مقطع عرضاني سدس الشكل (أو V مكررة) إذا تطلبت البكرة الثالثة كثيراً من عزم الدوران، وإلاّ فيمكن استعمال بكرة مسطحة المحيط تعمل بالجانب الخلفي من السيّر V. وهذا شائع جداً في منظومات السوّاقات ذات الامتدادات المتغيرة الاتجاهات المستعملة في السيارات الحديثة.

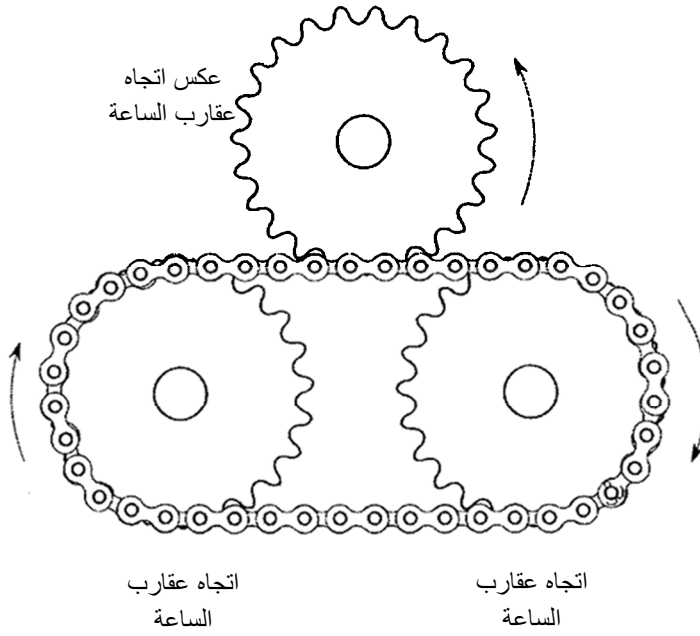
ويوفّر استعمال البكرة الثالثة فرصة لتغيير سرعة الدوران أيضاً. فالفرق بين قطر البكرة الثالثة وقطر البكرة السوّاقة يؤدي إلى تغيير السرعة.

2.5.6 الدواليب المسننة وسلاسل المسننات

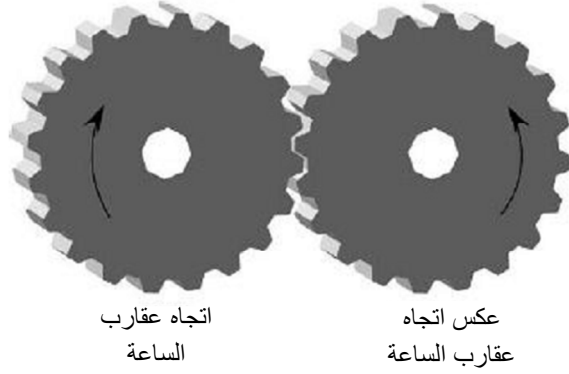
يُرى الشكل 5.6 أنه يمكن استعمال السلاسل والدواليب المسننة لتغيير اتجاه الدوران. ونظراً إلى أنه لا يمكن فتل السلاسل، يتطلب تغيير اتجاه الدوران استعمال دولايب مسنن ثالث. ويسمح تغيير عدد أسنان الدولايب الثالث بدورانه بسرعة مختلفة.

3.5.6 التروس

تتفرد التروس (المسننات) بأن كل زوج منها يغيّر اتجاه الدوران. انظر الشكل 6.6.



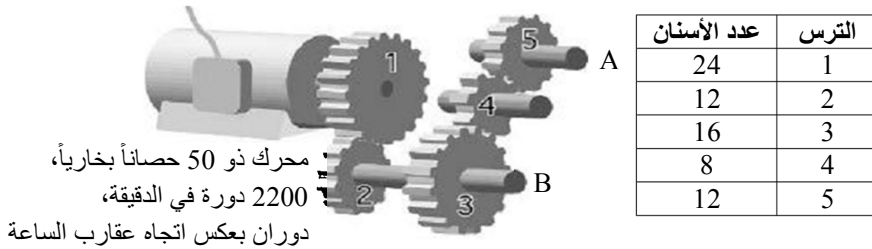
الشكل 5.6 تغيير اتجاه الدوران باستخدام السلاسل والمسننات.



الشكل 6.6 تغيير اتجاه الدوران بواسطة ترسين.

6.6 مجموعات آليات نقل الحركة المعقدة

تُستعمل في كثير من الآلات مجموعات نقل حركة أكثر تعقيداً مما ناقشناه حتى الآن. ويُرَى الشكل 7.6 مجموعة نقل حركة مصممة بحيث تمكّن من نقل استطاعة المحرك إلى مكونين مختلفين. وهذان المكونان مرتبطان بمحوري خرج A و B. ويتضح من هذا الشكل تطبيق تغيير السرعة واتجاه الدوران في مجموعات نقل الحركة المعقدة.



الشكل 7.6 حساب سرعة الدوران واتجاهه في منظومة متعددة المحاور.

مسألة: ما مقدار سرعة المحورين A و B المبيّنين في الشكل 7.6، وما اتجاه دورانهما؟

الحل: في مجموعة نقل الحركة هذه، يُحرّك المحرك ذو الاستطاعة 50 حصاناً بخارياً الترس 1. ويُحرّك الترس 1 الترس 2، ونظراً لتوضّع الترس 3 على المحور نفسه مع الترس 2، فإن الترس 1 يحركه أيضاً. ويحرك الترس 3 الترس 4، ويحرك الترس 4 الترس 5. ويدور المحور A بسرعة واتجاه دوران الترس 5، ويدور المحور B بسرعة واتجاه دوران الترسين 2 و 3 نفسيهما.

يمكن اتباع أكثر من طريقة لتحديد سرعة واتجاه المحورين A و B. والطريقة الأولى التي سوف نشرحها تستعمل معادلة الترس (معادلة الدولاب المسنن). ونظراً إلى وجود أكثر من زوج من التروس، يجب استعمال المعادلة أكثر من مرة. تساوي سرعة الترس 2:

$$N_2 = \frac{T_1 \times N_1}{T_2} = \frac{24 \times 2,200}{12} = 4,400\text{rpm}$$

ونظراً إلى أن الترس 2 مثبت على المحور B، فإن المحور B والترس 3 يدوران بسرعة 4,400 دورة في الدقيقة. ولتحديد سرعة المحور A، تُستعمل معادلة الترس مرتين آخرين، أولاهما لإيجاد سرعة الترس 4:

$$N_4 = \frac{16 \times 4,400}{8} = 8,800\text{rpm}$$

ثم لإيجاد سرعة الترس 5:

$$N_5 = \frac{8 \times 8,800}{12} = 5,866.66 \dots \text{ or } 5,900\text{rpm}$$

يدور المحور A بسرعة 5900 دورة في الدقيقة.

وبتذكّر مناقشة نسب السرعة، يمكننا اتباع طريقة أخرى لحل المسألة. إذا تحدّدت سرعة دوران المحور B بسرعة الترس السوّاق مضروبة بنسبة عدد أسنان الترسين، أمكن حساب سرعة دوران المحور B:

$$N_B = N_1 \times \frac{T_1}{T_2} = 2,200 \times \frac{24}{12} = 4,400 \text{rpm}$$

وُحسب سرعة دوران المحور A وفق التالي:

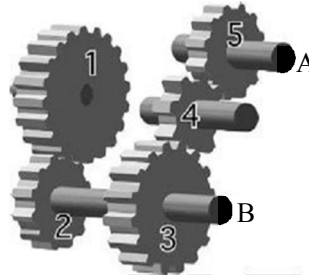
$$\begin{aligned} N_A &= N_1 \times \frac{T_1}{T_2} \times \frac{T_3}{T_4} \times \frac{T_4}{T_5} \\ &= 2200 \times \frac{24}{12} \times \frac{16}{8} \times \frac{8}{12} \\ &= \frac{6,758,400}{1,152} \\ &= 5,866.66 \dots \text{ or } 5,900 \text{ rpm} \end{aligned}$$

حين استعمال طريقة نسبة السرعة، من الضروري وضع عدد أسنان الترس السوّاق في البسط وعدد أسنان الترس المَسُوق في المقام.

1.6.6 اتجاه الدوران

أفضل طريقة لتحديد اتجاه دوران المحورين A و B هي استعمال التعليل الحَدسي. إننا نعلم من مناقشتنا للتروس أن اتجاه الدوران يتغيّر في كل زوج من التروس في مجموعة نقل الحركة. والمحور B يتحرك بواسطة زوج من التروس، ولذا يتغير اتجاه الدوران عنده مرة واحدة، ويدور باتجاه دوران عقارب

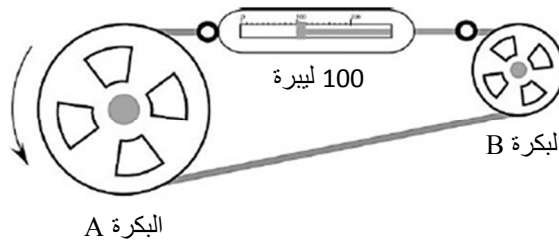
الساعة. ويتحرك المحور A بواسطة ثلاثة أزواج من التروس (انطلاقاً من المحرك) تُغيّر اتجاه الدوران ثلاث مرات. لذا يدور المحور A باتجاه عقارب الساعة. ادرس الشكل 8.6 للتحقق من هذين الجوابين.



الشكل 8.6 تحديد اتجاه دوران المحورين A و B.

7.6 السرعة وعزم الدوران

عزم الدوران هو قوة دَوَّارة تُطَبَّق على ذراع رافعة. وفي حالة السَّيَر والبكرة، تتمثّل القوة بقوة الشد المطبَّقة على السَّيَر، ويتمثّل طول ذراع الرافعة بنصف قطر البكرة. افترض أن ثمة مقياس قوة موصولاً مع السَّيَر، وفقاً للمبيّن في الشكل 9.6، وافترض أيضاً أن قوة شد السَّيَر تساوي 100.0 ليبرة.



الشكل 9.6 السرعة وعزم الدوران.

نظراً إلى أن قوة شد السيّر ثابتة على طوله، فإن ثمة قوة مقدارها 100.0 ليبرة تدفع كلاً من البكرة السوّاقة A والبكرة المَسوّقة B.

فإذا كان قطر البكرة السوّاقة يساوي 10.0 إنشات، وكان قطر البكرة المَسوّقة يساوي 5.0 إنشات، فإن عزم الدوران المطبّق على البكرة السوّاقة يساوي:

$$\begin{aligned} T_o &= F \times R \\ &= 100.0 \text{ lb} \times 5.0 \text{ in} = 500 \text{ lb-ft} \end{aligned}$$

ويساوي عزم الدوران المطبّق على البكرة B:

$$\begin{aligned} T_o &= F \times R \\ &= 100.0 \text{ lb} \times 2.5 \text{ in} = 250 \text{ lb-ft} \end{aligned}$$

إن العزمين على البكرتين مختلفان لأن البكرات تعمل عمل رافعات الفئة 1: نصف قطر البكرة هو طول ذراع الرافعة. والبكرة ذات القطر الأكبر تنصف بذراع رافعة أطول. ويوضّح هذا المثال أيضاً أنه نظراً إلى أن سرعة السيّر (مقدرة بالإنش في الدقيقة) هي نفسها، فإن عزم الدوران في البكرة المَسوّقة يتناسب عكساً مع فرق السرعة في ما بين البكرتين السوّاقة والمَسوّقة. وعندما تدور البكرة المَسوّقة بسرعة أعلى، ينخفض عزم الدوران فيها مقارنة بالمحور السوّاق، والعكس صحيح.

ويترافق كل تغيير في السرعة بتغير في عزم الدوران. والعودة إلى معادلة محور التدوير الخلفي في الجرّار (مأخذ الاستطاعة) هي واحدة من طرائق توضيح هذه العلاقة:

$$P_{hp} = \frac{T_o \times N}{5252}$$

بافتراض أن الاستطاعة بقيت نفسها، وأنه لا توجد ضياعات للاستطاعة في

مجموعة نقل الحركة، فإنه عندما يزداد عزم الدوران، يجب أن ينخفض عدد الدورات في الدقيقة، والعكس صحيح. ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$To_1 \times N_1 = To_2 \times N_2$$

مسألة: يدور المحور السوّاق لمجموعة نقل حركة بالسّير والبكرات بسرعة 300 دورة في الدقيقة، ويطبّق عزم دوران على البكرة السّوّاقة يساوي 20.0 ليبرة. قدم. ويدور المحور المَسُوق بسرعة 50 دورة في الدقيقة. ما مقدار عزم الدوران الذي ينشأ عند البكرة المَسُوقة؟

الحل: بإعادة ترتيب معادلة عزم الدوران بغية حساب To_2 ، نحصل على:

$$To_2 = To_1 \times \frac{N_1}{N_2} = 20.0 \text{ lb. ft} \times \frac{300 \text{ rpm}}{50 \text{ rpm}} = 120 \text{ lb. ft}$$

لاحظ أن سرعة دوران المحور المَسُوق تساوي سدس سرعة دوران المحور السّوّاق، أما العزم عنده فيساوي ستة أمثال العزم عند المحور السّوّاق. توجي هذه العلاقة بتفسير لآلية نقل الحركة في الجرّار. يدور المحرك بسرعة كبيرة وعزم دوران صغير، ويدور المحور السّوّاق بسرعة منخفضة وعزم دوران كبير. وتُستعمل في تلك الآلية أزواج تروس مختلفة لتوليد تراكيب سرعة وعزم دوران مختلفة في المحور السّوّاق.

8.6 نقل الاستطاعة وعزم الدوران

حين التعامل مع الآلات الزراعية، من المفيد أحياناً معرفة مقدار عزم الدوران الذي ينتقل بواسطة أحد مكوّنات مجموعة آلية نقل الحركة. على سبيل المثال، من المفيد معرفة مقدار عزم الدوران والاستطاعة المتوافرين عند المحورين A و B في الشكل 7.6.

بناءً على المناقشة السابقة للعلاقة بين عزم الدوران والسرعة، وعلى معادلة عزم الدوران، يمكن تحديد العزم الأعظمي المتوافر عند كل محور:

$$To_B = To_1 \times \frac{N_1}{N_2}$$

ولحساب To_B ، يجب أن تكون قيم المتغيرات الثلاثة الأخرى معروفة. لقد حُسِبَت سرعتا الدوران في المقطع السابق. والمتغير المتبقي هو عزم الدوران الذي يقدّمه المحرك. سوف نناقش الاستطاعة بتفصيل أكبر في فصل قادم، إلا أن الاستطاعة الدورانية يمكن أن تُحسب بواسطة معادلة الاستطاعة التي استُعملت في المقطع السابق:

$$P_{hp} = \frac{To \times N}{5252}$$

ونظراً إلى أننا نعرف سرعة دوران المحرك والاستطاعة التي يولدها، يمكننا حساب عزم المحرك بعد إعادة ترتيب المعادلة:

$$\begin{aligned} To_{eng} &= \frac{P_{hp} \times 5252}{N} = \frac{50 \text{ hp} \times 5252}{2,200 \text{ rpm}} \\ &= 119.36 \dots \text{ or } 120 \text{ lb. ft} \end{aligned}$$

وبعد معرفة عزم الدوران الذي يولده المحرك، يمكن حساب عزم دوران المحور
:B

$$To_B = To_1 \times \frac{N_1}{N_2} = 120 \text{ lb. ft} \times \frac{2,200 \text{ rpm}}{4,400 \text{ rpm}} = 60 \text{ lb. ft}$$

ويمكن حساب عزم دوران المحور A أيضاً:

$$To_A = To_{motor} \times \frac{N_{motor}}{N_A} = 120 \text{ lb. ft} \times \frac{2,200 \text{ rpm}}{6,000 \text{ rpm}} = 44 \text{ lb. ft}$$

نظراً إلى معرفتنا بسرعة دوران المحور A، استعملنا نسبة السرعة لحساب العزم. ولو لم نعرف سرعة المحور A، لكان علينا حسابها أولاً.

9.6 نقل الاستطاعة بواسطة مجموعة آلية نقل الحركة

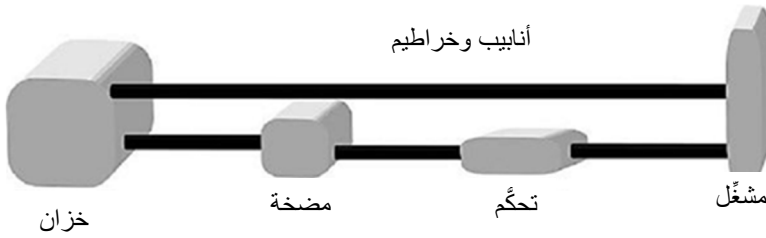
تُقل الاستطاعة بواسطة مجموعة آلية نقل الحركة. ادرس الشكل 8.6 مرة أخرى. هل تستطيع التنبؤ بمقدار الاستطاعة المتاحة عند كل من المحورين A و B؟ الجواب الصحيح هو 50 حصاناً بخارياً. وإذا افترضنا عدم وجود ضياعات ناجمة عن الاحتكاك في مجموعة نقل الحركة، حصلنا على كل الاستطاعة التي ندخلها فيها. ويمكن توضيح ذلك باستعمال معادلة الاستطاعة لحساب الاستطاعة المتوافرة عند المحور A:

$$P_{hp} = \frac{T_o \times N}{5252} = \frac{44 \text{ lb. ft} \times 6000 \text{ rpm}}{5252} = 50.26 \dots \text{ or } 50 \text{ hp}$$

10.6 منظومات الهواء المضغوط والمنظومات الهيدروليكية

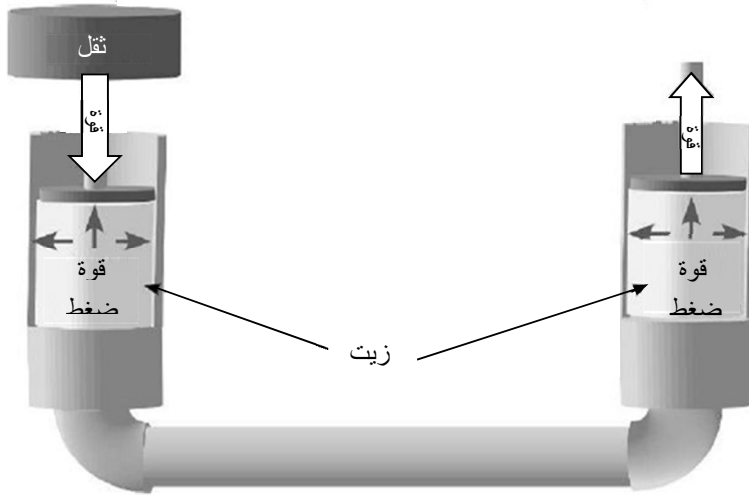
تقوم منظومات الهواء المضغوط والمنظومات الهيدروليكية على جريان السوائل. والفرق الرئيسي بينهما هو أن الزيت السائل غير قابل للانضغاط في حين أن الهواء قابل للانضغاط. وتُستعمل المنظومات الهيدروليكية أكثر من منظومات الهواء المضغوط في كثير من التجهيزات الزراعية. ولذا سوف نتركز المناقشة التالية في المنظومات الهيدروليكية. تحتاج جميع منظومات الهواء المضغوط والمنظومات الهيدروليكية إلى خمسة مكونات وفق المبيّن في الشكل 10.6. ويتمثل قلب المنظومتين بالمضخة. وتُستعمل أنواع كثيرة مختلفة من

المضخات، إلا أنها جميعاً تشترك في مهمة واحدة هي تشغيل المنظومة. وتحتاج المنظومة أيضاً إلى خزان للزيت، وصمامات للتحكم في مقدار تدفق الزيت واتجاهه، وبعض أنواع المشغلات لتنفيذ العمل، وخرائطم وأنايبب للوصل في ما بين جميع المكونات. وثمة مكونات أخرى ضرورية لتحقيق الأداء المطلوب من المنظومة.



الشكل 10.6 خمسة مكونات ضرورية للمنظومة

تعمل المنظومات الهيدروليكية بمبدأين هما الضغط والجريان. ويُستعمل الضغط لتوليد قوة أو عزم، ويُستعمل الجريان لتوليد الحركة. ويحكم الضغط في المنظومة قانون باسكال (Pascal) الذي ينص على أن الضغط ضمن سائل محصور ينتقل بالتساوي في جميع الاتجاهات ويولد قوى متساوية متعامدة مع جدران الوعاء. انظر الشكل 11.6.

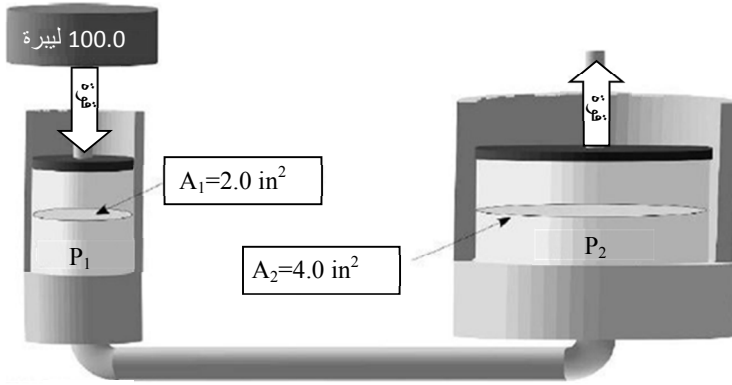


الشكل 11.6 القوة: مبدأ المنظومة الهيدروليكية الأول.

وفي الشكل 12.6، تُستعمل القوة لضغط السائل، ويُستعمل الضغط لنقل شدة القوة الناتجة وتغييرها. ويتحقق تغيير شدة القوة الناتجة بتغيير الضغط أو المساحة. ويتحدد مقدار القوة الناتجة بضرب الضغط بالمساحة:

$$F = P \times A$$

حيث P هو الضغط مقدراً بالباسكال للإنش المربع أو اللبيرة للإنش المربع، و F هي القوة مقدرة باللبيرة، و A هي المساحة مقدرة بالإنش المربع.



الشكل 12.6 زيادة القوة باستعمال السائل.

مسألة: ما مقدار القوة الناتجة في المكبس الثاني في الشكل 12.6؟

الحل: الخطوة الأولى هي تحديد الضغط في المنظومة:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{100.0 \text{ lb}}{2.0 \text{ in}^2} = 50 \text{ lb/in}^2$$

إلا أن $P_1 = P_2$ ، لأن الضغط هو نفسه في جميع الأماكن. لذا:

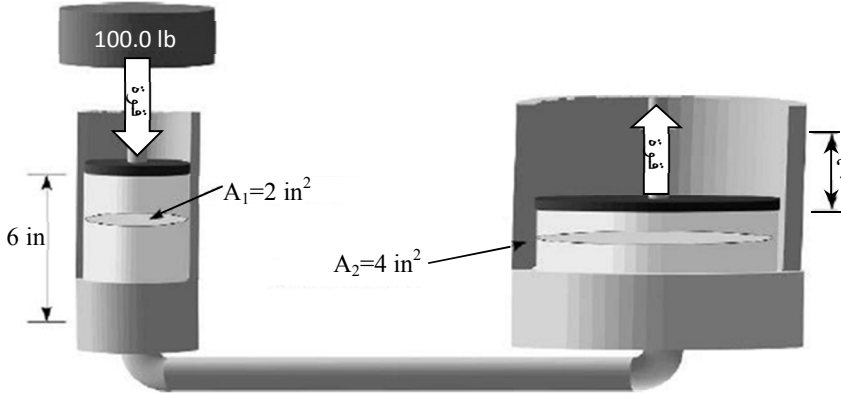
$$\begin{aligned} F_2 &= P_1 \times A_2 \\ &= 50 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 4 \text{ in}^2 \\ &= 200 \text{ lb} \end{aligned}$$

يُري هذا المثال أنه حينما يُطبَّق ثقل مقداره 100 ليبرة على سطح مساحته

2.0 إنشين مربع، يتولّد ضغط مقداره 50 ليبرة على الإنش المربع. وعندما يكون هذا الضغط على تماس مع سطح مساحته تساوي 4.0 إنشات، تنشأ قوة مقدارها 200 ليبرة. أي إن زيادة القوة ونقصانها متناسبان مع مساحة السطح.

والمبدأ الثاني للمنظومات الهيدروليكية هو الجريان. يُحدّد جريان السائل سرعة المشغل ومقدار حركته. ففي منظومة ذات مكبسين، ووفقاً للموضّح في الشكل 13.6، يمكن تحديد الجريان الكلي، مقدراً بالإنش المكعب، من المكبس الأول إلى الثاني بضرب مساحة المكبس، مقدرة بالإنش المربع، بطول الشوط S . وكلما كانت مساحة المكبس الثاني أكبر، كانت المسافة التي يتحركها أصغر لأن الحجم المزاح هو نفسه في المكبسين. وتتطلب المساحة التي هي أكبر طول شوط أصغر لإنتاج الحجم نفسه. ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالمعادلة التالية:

$$A_1 \times S_1 = A_2 \times S_2$$



الشكل 13.6 تحديد الجريان.

مسألة: ما المسافة التي يتحركها المكبس الثاني في الشكل 13.6؟

الحل:

$$\begin{aligned} A_1 \times S_1 &= A_2 \times S_2 \\ S_2 &= \frac{A_1 \times S_1}{A_2} \\ &= \frac{2.0 \text{ in}^2 \times 6.0 \text{ in}}{4.0 \text{ in}^2} \\ &= 3.0 \text{ in} \end{aligned}$$

في معظم التطبيقات الحركية للمنظومات الهيدروليكية، يُولد الضغط بواسطة مضخة ويُنظَّم بواسطة صمام تنفيس. وفي تلك التطبيقات، يُحدَّد ضغط المنظومة القوة التي يُولدها المشغِّل. وحين استعمال مشغِّلات خطية مع أسطوانات، يُحدَّد قطرُ الأسطوانة وضغط السائل القوة الناتجة عند الأسطوانة. وتحدَّد المسافة التي تتقدمها الأسطوانة أو تتراجعها بمقدار السائل الذي يتحرك، وتحدَّد السرعة التي تتقدم الأسطوانة أو تتراجع بها بمعدل جريان السائل.

مسألة: حدِّد القوة العظمى الممكنة، ومقدار تقدُّم السائل (بالإنش) ومعدل التقدم (بالإنش في الدقيقة) لأسطوانة قطرها يساوي 3.50 إنشات عندما يساوي ضغط المنظومة 2,500 لبيرة على الإنش المربع، ويساوي معدل الجريان 3.25 غالونات في الدقيقة، ويعمل صمام التحكم مدة 15.0 ثانية.

الحل: إن عملية تحديد القوة العظمى الناتجة مماثلة لتلك المستعملة في المسألة السابقة:

$$F = P \times A$$

$$\begin{aligned}
&= 2,500 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times (\pi \times (3.50 \text{ in})^2) \\
&= 2,500 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 38.484 \\
&= 96,210 \dots \text{ or } 96,200 \text{ lb}
\end{aligned}$$

أما مقدار تقدم السائل أو الشوط فهو تابع لمساحة المقطع العرضاني للأسطوانة وحجم السائل المتحرك. ويمكن حل هذه المسألة باستعمال حذف الوحدات:

$$\begin{aligned}
S(\text{in}) &= \frac{231 \text{ in}^3}{1 \text{ gal}} \times \frac{3.25 \text{ gal}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}} \times \frac{15.0 \text{ sec}}{1} \times \frac{1}{38.5 \text{ in}^2} \\
&= \frac{11261.25}{2310} = 4.875 \text{ or } 4.88 \text{ in}
\end{aligned}$$

وتحدّد وتيرة جريان السائل Q ومساحة المقطع العرضاني للأسطوانة وتيرة الحركة. ويمكن حل هذه المسألة أيضاً باستعمال حذف الوحدات:

$$\begin{aligned}
S\left(\frac{\text{in}}{\text{min}}\right) &= \frac{231 \text{ in}^3}{1 \text{ gal}} \times \frac{3.25 \text{ gal}}{1 \text{ min}} \times \frac{1}{38.5 \text{ in}^2} = \frac{750.75}{38.5} \\
&= 19.5 \frac{\text{in}}{\text{min}}
\end{aligned}$$

11.6 مسائل بالوحدات المترية

مسألة: ما مقدار نصف قطر البكرة اللازمة إذا كانت السرعة المطلوبة تساوي 500 دورة في الدقيقة وكان قطر البكرة المَسُوقة 6.0 سنتيمترات، وكانت سرعة دورانها 1725 دورة في الدقيقة؟

الحل:

$$\begin{aligned} D_1 \times N_1 &= D_2 \times N_2 \\ D_2 &= \frac{D_1 \times N_1}{N_2} = \frac{6.0 \text{ cm} \times 1725 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{500 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} = \frac{10350}{500} \\ &= 20.7 \text{ or } 21 \text{ cm} \end{aligned}$$

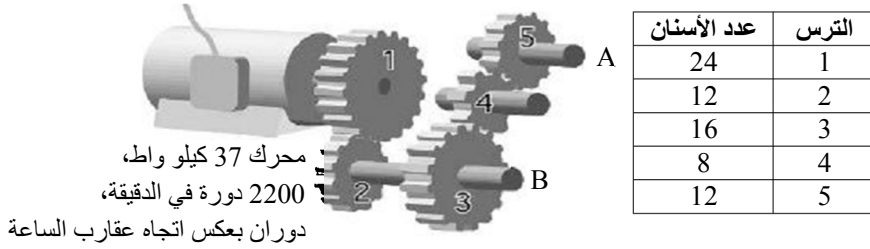
مسألة: حدّد العزم المتوفّر عند المحورين A و B في الشكل 14.6.

الحل: الخطوة الأولى هي تحديد سرعة دوران المحورين. والمحور B هو الأول ضمن سلسلة المحاور، ولذا سوف تُحدّد سرعة دورانه أولاً:

$$\begin{aligned} T_1 \times N_1 &= T_2 \times N_2 \\ N_B = N_2 &= \frac{T_1 \times N_1}{T_2} = \frac{24 \text{ T} \times 2200 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{12 \text{ T}} = \frac{52800}{12} \\ &= 4400 \text{ rpm} \end{aligned}$$

T: teeth. وتساوي سرعة دوران المحور A:

$$\begin{aligned} N_A &= N_1 \times \frac{T_1}{T_2} \times \frac{T_3}{T_4} \times \frac{T_4}{T_5} \\ &= 2,200 \times \frac{24}{12} \times \frac{16}{8} \times \frac{8}{12} \\ &= \frac{6,758,400}{1,152} = 5,866.66 \dots \text{ or } 5,900 \text{ rpm} \end{aligned}$$



الشكل 14.6 آلية نقل حركة معقدة مع وحدات مترية.

ويحصل العزم الأعظمي عند محور واحد فقط. لذا سوف نحسبه لكل من المحورين A و B. يساوي العزم الأعظمي الذي يعطيه المحرك:

$$P_{kw} = \frac{T_o \times N}{9549}$$

$$T_o = \frac{9549 \times P_{kw}}{N}$$

$$= \frac{9,549 \times 37.0}{2,200} = 160.6 \text{ Nm}$$

يولّد المحرّك عزمًا يساوي 160.6 نيوتن متر.

ويساوي العزم عند المحور A:

$$T_{o1} \times N_1 = T_{o2} \times N_2$$

$$T_{o2} = \frac{T_{o1} \times N_1}{N_2}$$

$$= \frac{160.6 \text{ N.m} \times 2200 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{5,900 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}$$

$$= \frac{353,320}{5900} = 59.884 \dots \text{ or } 60 \text{ Nm}$$

ويساوي العزم عند المحور B:

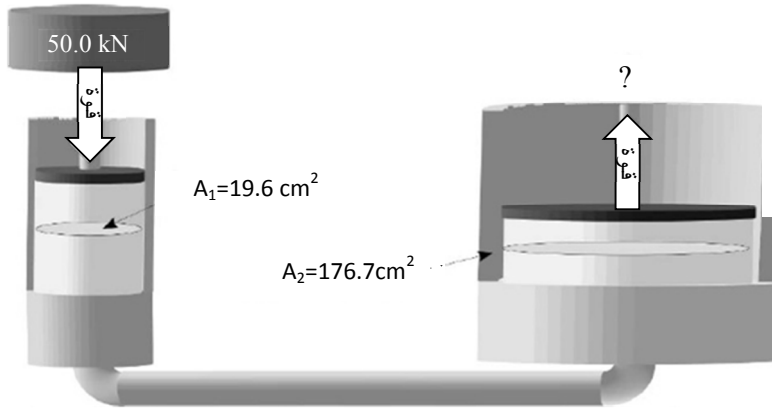
$$\begin{aligned} T_{O_1} \times N_1 &= T_{O_2} \times N_2 \\ T_{O_2} &= \frac{T_{O_1} \times N_1}{N_2} \\ &= \frac{160.6 \text{ N.m} \times 2,200 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{4,400 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} \\ &= \frac{353,320}{4,400} = 80.3 \text{ Nm} \end{aligned}$$

يحصل العزم الأعظمي عند المحور B.

مسألة: ما مقدار القوة التي تولدها المنظومة الهيدروليكية المبينة في الشكل 15.6 عندما يساوي قطر الأسطوانة الأولى 5 سنتيمترات، ويساوي قطر الأسطوانة الثانية 15 سنتيمترات، وتساوي القوة عند الأسطوانة الأولى 50 كيلو نيوتن؟

الحل: القوة المقسومة على المساحة تساوي الضغط، والضغط المضروب بالمساحة يساوي القوة:

$$\begin{aligned} P(\text{kPa}) &= \frac{F(\text{N})}{A(\text{cm})} \\ &= \frac{50 \text{ kN}}{\frac{\pi \times (5 \text{ cm})^2}{4}} \times \frac{10,000 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} \times \frac{1,000 \text{ N}}{1 \text{ kN}} \times \frac{1 \text{ pa}}{\text{N/m}^2} \times \frac{1 \text{ kPa}}{1000 \text{ Pa}} \\ &= \frac{500,000,000}{19,634.95 \dots} = 25,464.79 \dots \text{ or } 25,000 \text{ kPa} \end{aligned}$$



الشكل 15.6 القوة الناتجة بالوحدات المترية.

يساوي الضغط على السائل 25,000 كيلو باسكال. وتساوي القوة المطبقة على الأسطوانة الثانية:

$$\begin{aligned}
 F(N) &= P(\text{kPa}) \times A(\text{cm}^2) \\
 &= 25,000 \text{ kPa} \times \frac{\pi \times (15 \text{ cm})^2}{4} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10,000 \text{ cm}^2} \\
 &\quad \times \frac{1000 \text{ Pa}}{1 \text{ kPa}} \times \frac{\text{N/m}^2}{1 \text{ Pa}} \times \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ N}} \\
 &= \frac{417,864,669}{10,000,000} = 41,786 \text{ or } 440 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

مسألة: في المسألة السابقة، ما مقدار المسافة التي يتحركها المكبس الثاني عندما يتحرك المكبس في الأسطوانة الأولى مسافة 5 سنتيمترات؟

الحل:

المساحة الأولى \times مسافة الشوط الأول = المساحة الثانية \times مسافة الشوط

الثاني

$$A_1 \times S_1 = A_2 \times S_2$$

$$S_2 = \frac{A_1 \times S_1}{A_2}$$

$$= \frac{19.6 \text{ cm}^2 \times 5 \text{ cm}}{176.7 \text{ cm}^2} = \frac{98}{176.7} = 0.554 \dots \text{ or } 0.55 \text{ cm}$$

7.

الجرّارات ومجموعات الاستطاعة

1.7 الأهداف

1. التمكن من وصف التصاميم الشائعة للجرّارات.
2. التمكن من تقدير استطاعة قضيب الجر واستطاعة محور التدوير الخلفي باستعمال قاعدة الـ 86%.
3. التمكن من إعادة تقدير الاستطاعة الاسمية لمجموعة ثابتة في بيئة العمل المعنية.
4. التمكن من شرح مفهوم المقدرة على التحميل الزائد.
5. التمكن من وصف مبادئ اختبار الجرّار.
6. فهم إجراءات فحص الجرّارات لدى المنظمين ASABE و OECD.

2.7 تقديم

تتصف الجرّارات بأنها آلات متنوعة الاستخدام، إلا أن طيف استعمالاتها أوسع كثيراً من أن تحقّقه آلة واحدة بعينها في جميع المهام الممكنة. لذا يسعى مصنّعوها إلى وضع تصاميم مختلفة لها لتتوافق مع أنواع الاستعمال المختلفة. ومع أن حدود تلك الأنواع ليست ضيقة، إلا أنه إذا دفع عامل الجرّار تلك

الحدود بعيداً جداً حين استعماله، يمكن الجرّار أن يُخفق مؤدياً إلى حادث يعطلّه أو يضر بالآلة التي يُشغّلها. ويمكن أيضاً أن يؤدي إلى أذية العامل ومن يقف في جواره. لذا من المهم أن تكون لدى مالك الجرّار أو مستعمله دراية بفئات الجرّارات الشائعة. وسوف نشرح في هذا الفصل أيضاً كيفية إعادة تقدير الاستطاعة الاسمية للمحركات الثابتة والجرّارات تبعاً لظروف تحميلها، وكيفية اختبارها.

3.7 فئات الجرّارات

يتطلب تنوّع الزراعة الحديثة كثيراً من تصاميم الجرّارات المختلفة. وتاريخياً، كان استعمالها أساساً لطرائق تصنيفها. فتبعاً للاستعمال، صُنّفت الجرّارات في ست فئات: جرّار استعمال عام، وجرّار النباتات الصقيّة [النباتات التي تُزرع على أكتاف متوازية بينها فواصل غير مزروعة]، وجرّار بساتين الأشجار المثمرة، وجرّار كروم العنب، وجرّار الأعمال الصناعية، وجرّار الحقائق. وقد حاول المصمّمون إنتاج جرّارات طيف استعمالاتها الممكنة أوسع كثيراً، ومع ذلك بقي ذلك التصنيف قائماً بعد إضافة فئات فرعية إليه تبعاً لمنظومات الدفع المستعملة في الجرّارات: دفع بالدولابين الخلفيين، ودفع رباعي الدواليب مع توجيه متمفصل للدولابين الأماميين، ودفع وتوجيه رباعي الدواليب، ودفع مجنزر، ودفع خلفي مع مساعدة الدولابين الأماميين.

1.3.7 جرّارات الاستعمال العام

جرّار الاستعمال العام هو الجرّار ذو التصميم الشائع الذي يتصف بدولابين خلفيين تفصل بينهما المسافة عينها التي تفصل بين الدولابين الأماميين.

ويُصنع هذا النوع بارتفاع أقرب إلى الأرض عادة من جرّار النباتات الصفيّة. أما استطاعات هذا النوع فهي ذات مجال واسع جداً يمتد من 25 حصاناً بخارياً إلى ما يزيد على 400 حصان بخاري (19-300 كيلو واط)، وتتحدّد استعملاته تبعاً لاستطاعته. والمقاسات الصغيرة منه شائعة جداً في المشاريع الزراعية الصغيرة وفي جز العشب. وتُستعمل المقاسات المتوسطة كثيراً في الحراثة والرش وجز العشب وتشغيل تجهيزات ثابتة أو متقلّة. وتُستعمل المقاسات التي هي أكبر في الحراثة الرئيسية وتشغيل آلات ثابتة من مثل آلات الرزم الكبيرة وحصادات الأعلاف ومولدات الكهرباء الاحتياطية وآلات فصل الحبوب عن التبن. وقد صُمّمت بعض الآلات ذات الاستطاعة العالية للحراثة فقط، وقد لا تحتوي على مأخذ استطاعة أو على عتلة جر ثلاثية النقاط.

وتتوافر الجرّارات ذات الاستعمال العام بجميع أنواع منظومات الدفع الخمس. وقد هيمن تاريخياً على هذه الفئة الدفع بالدواليب الخلفية، لكن ذلك تغيّر في السنوات الأخيرة. وتتحدّد منظومة الدفع عادة بالاستطاعة. فالجرّارات الصغيرة تستعمل الدفع الخلفي أو المساعدة بالدولابين الأماميين. وفي حالة الاستطاعة المتوسطة، توجد كل الأنواع. أما في حالة المقاسات الكبيرة، فإن أكثر الأنواع شيوعاً هو الدفع الرباعي مع هيكل متمفصل.

2.3.7 جرّارات النباتات الصفيّة

تُصمّم جرّارات النباتات الصفيّة بارتفاع عن الأرض أكبر من ارتفاع الجرّارات ذات الاستعمال العام، وهذا يمكّنها من السير فوق نباتات أطول من دون إيذاؤها. أما مجال مقاسات هذه الجرّارات فهو أضيق من مجال مقاسات جرّارات الاستعمال العام، فاستطاعاتها تقع عادة بين 50 و 100 حصان بخاري (37-

75 كيلو واط). وتاريخياً، صُنِعَ كثير منها بدولابين أماميين أقرب إلى بعضهما من الدولابين الخلفيين (على نحو مشابه للدراجة الثلاثية الدواليب). ويمنع استعمال الدولابين الأماميين القريبين من بعضهما استعمال الجنزير والمساعدة بالدولابين الأماميين والتوجيه المتمفصل، إلا أن ثمة جرّارات نباتات صفيّة أيضاً بتلك التشكيلات من دون دولابين أماميين قريبين من بعضهما.

3.3.7 جرّارات بساتين الأشجار المثمرة

لا يختلف تصميم جرّارات بساتين الأشجار المثمرة عن تصميم جرّارات الاستعمال العام والنباتات الصفيّة، بل جرى تعديلها لتقليل إمكانات اعتراضها من قبل أغصان الأشجار. وتتضمن تلك التعديلات أيضاً تغيير موضع العادم ومدخل الهواء إلى المحرك، وإضافة شبكات حول الدواليب وغيرها لحمايتها من الأشياء النائثة. ولا تتضمن الأعمال في بساتين الأشجار المثمرة أعمالاً تحتاج إلى استطاعات كبيرة مثل الحراثة الرئيسية، ولذا كانت هذه الجرّارات متوسطة الاستطاعة.

4.3.7 جرّارات كروم العنب

تقع هذه الجرّارات ضمن مجال الاستطاعات المنخفضة، وقد صُمِّمَت أو عُدِّلَت لتقليل عرضها بحيث يمكن أن تمر بين صفوف شجيرات العنب ذات الفواصل الضيقة. ويمكن أن تُستعمل فيها شبكات وقاية أيضاً كتلك المستعملة في جرّارات بساتين الأشجار المثمرة. لكن المقاس الضيق يقصّر منظومة الدفع على الدفع الخلفي المعهود ومساعدة الدولابين الأماميين والجنزرة.

5.3.7 الجرّارات الصناعية

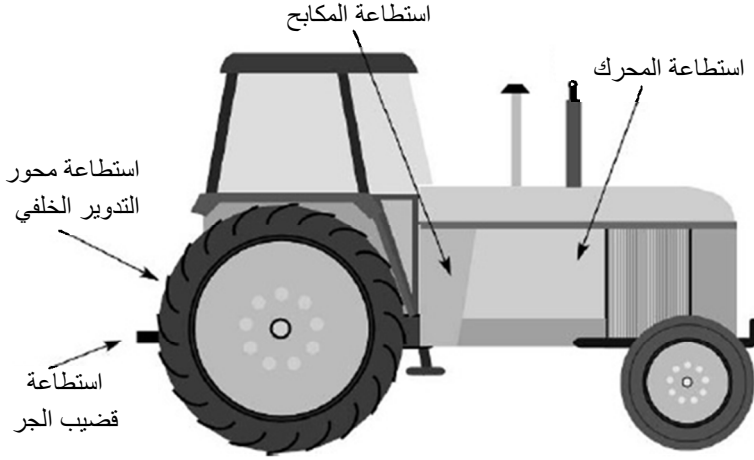
تبدو هذه الجرّارات كجرّارات الاستعمال العام في الزراعة لكنّ مع وجود فوارق مهمة. فهي مجهزة بإطارات دواليب للعمل على سطوح صلبة ناعمة. وقد صُمِّم محور الدولاين الأماميين والهيكل بغية تحمّل وزن وصدّات مجرفة التحميل الأمامية والحفّارة الخلفية وغيرهما من التجهيزات الصناعية.

6.3.7 جرّارات الحدائق

تُعتبر فئة الجرّارات هذه أكثر الفئات تنوعاً من حيث البنية الميكانيكية، وتقل استطاعتها عادة عن 25 حصاناً بخارياً. وقد صُنِع بعضها بحيث يبدو كجرّار صغير، ويبدو بعضها الآخر كجزازة العشب التي يقودها سائق. ويُستعمل فيها الدفع الخلفي مع مساعدة الدولاين الأماميين أو من دونها.

4.7 استطاعات الجرّارات الاسمية

تُستعمل قيم استطاعة اسمية مختلفة للتعبير عن مقاسات الجرّارات والمحركات. إنه لمن الضروري أن تتذكّر أن المصنّعين يلجؤون إلى الدعاية لمحركاتهم بإعطاء استطاعاتها أعلى القيم الممكنة، وذلك بغرض جعلها منافسة في الأسواق. أما الاستطاعة الفعلية التي يمكن استعمالها فتقل عادة عن الاستطاعة المعلنة. لذا يجب أن يكون نوع القيمة المستعملة للتعبير عن الاستطاعة معروفاً قبل أن يكون بالإمكان تحديد الاستطاعة القابلة للاستعمال فعلاً. انظر الشكل 1.7.



الشكل 1.7 تصنيف استطاعة الجرّار.

1.4.7 استطاعة المحرك

استطاعة المحرك هي استطاعة محسوبة بناء على قطر الأسطوانة وضغط المكبس وسرعة المحرك. وهي ليست تصنيفاً جيداً لتحديد الاستطاعة المفيدة المتوفرة من الجرّار أو المحرك الثابت.

2.4.7 استطاعة المكبح

يأتي مصطلح استطاعة المكبح من الاستعمال المبكر لمكبح بروني لقياس استطاعة المحرك. واستطاعة المكبح هي الاستطاعة المتوفرة عند دولاّب استقرار دوران (حدّافة) المحرك. وهي ليست استطاعة مفيدة في تصنيف الجرّار، بل هي الاستطاعة المستعملة لتصنيف مقاسات محركات مضخات الريّ وما شابهها من الآلات.

3.4.7 استطاعة محور التدوير الخلفي (مأخذ الاستطاعة)

استطاعة محور التدوير الخلفي (Ptohp) هي تصنيف للاستطاعة المتوافرة عند محور التدوير الخلفي في جرّار زراعي. وتُستعمل هذه الاستطاعة للتحريك الدوراني لكثير من أنواع الآلات المختلفة، مثل الرزمات والمضخات وجرّازات العشب. ولتحديد استطاعة محور التدوير الخلفي يمكن استعمال أيّ من معادلتَي الاستطاعة القائمتين على العزم:

$$\text{Power (hp)} = \frac{T_o \times N}{5,252}$$

حيث hp هو الحصان البخاري، و T_o هو عزم الدوران مقدراً بالليبرة. قدم، و N عدد الدورات مقدرة بالدورة في الدقيقة. وباستعمال الوحدات المترية:

$$\text{Power (kW)} = \frac{T_o \times N}{9,549}$$

حيث kW هو كيلو واط، و T_o هو عزم الدوران مقدراً بالنيوتن.متر، و N هو عدد الدورات في الدقيقة.

4.4.7 استطاعة قضيب الجر

استطاعة قضيب الجر هي الاستطاعة المقاسة عند نقطة ربط المقطورات بالجرّار، وتتمثل تلك النقطة بقضيب الجر أو عتلة الجر الثلاثية النقاط. توضع خلية قياس الحمل بين الجرّار والحمل في أثناء اختبار، ويُسجّل مقدار شدّ القضيب وسرعة الحركة، ويُستعمل هذان المقداران لحساب استطاعة قضيب الجر. وباستعمال نتيجة قياس الشد (بالليبرة) والسرعة (بالميل في الساعة) يُلغى استعمال معادلة استطاعة محور التدوير الخلفي. ونظراً إلى تقدير القوة بالليبرة،

وإلى أن السرعة تُعبّر عن المسافة المقطوعة خلال المدة التي استغرقت في قطعها (ميل في الساعة)، فإن أفضل معادلة للتعبير عن استطاعة قضيب الجر هي:

$$Db_{hp} = \frac{F \times V}{375}$$

حيث Db_{hp} هي استطاعة قضيب الجر مقدرة بالحصان البخاري، و F هي قوة الجر مقدرة بالليبرة، و V هي السرعة مقدرة بالميل في الساعة، والثابت 375 هو ثابت تحويل الوحدات. وقد اشتُقَّت هذه المعادلة بتعديل معادلة الاستطاعة الأصلية:

$$P_{hp} = \frac{F \times D}{t \times 3,3000}$$

فنظراً إلى أن: $V = D/t$ ، و $1\text{mile/hr} = 88\text{ft/min}$ ، فإن:

$$1\text{hp} = (F \times V \times 88)/33000 = (F \times V)/375$$

مسألة: ما مقدار استطاعة قضيب الجر التي يولدها جرّار عندما تنشأ قوة فيه مقدارها 1500 ليبرة عند سرعة تساوي 5.5 أميال في الساعة؟

الحل:

$$Db_{hp} = \frac{F \times V}{375} = \frac{1,500 \text{ lb} \times 5.5 \frac{\text{mile}}{\text{hr}}}{375} = \frac{8250}{375} = 22 \text{ hp}$$

5.7 التحويل في ما بين الاستطاعات

يمكن مصنّعي الجرّارات استعمال أيّ من تصنيفات الاستطاعة الأربعة

للدعاية لجرّاراتهم. لكنّ حينما يستعملون استطاعة المحرك أو المكبح، فإن المعلومة التي يقدّمونها لا تكون مفيدة لأن الاستطاعة القابلة للاستعمال تقل عن تلك الاستطاعة، وتكون استطاعة محور التدوير الخلفي أقل بسبب الضياعات في مجموعة نقل الحركة. وتكون استطاعة قضيب الجر أقل لأن ثمة ضياعات أخرى في محور نقل الحركة، ولأن الجرّار لا يكون قادراً على تطبيق كل عزم الدواليب على التربة.

يمكن تحديد قيمتي استطاعة محور التدوير الخلفي وقضيب الجر الفعليتين باختبار الجرّار لدى محطة اختبارات نبراسكا للجرّارات (Nebraska Tractor Test Station) (NTT) أو لدى منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (Organisation for Economic Cooperation and Development) (OECD). وعندما لا تكون استطاعتا محور التدوير الخلفي وقضيب الجر متوافرتين، يمكن استعمال قاعدة الـ 86% لتقديرهما من استطاعة المحرك الاسمية.

فقد بيّنت الدراسات أنه إذا قورن عدد كبير من الجرّارات ضمن كثير من ظروف الجر المختلفة، أمكن تقريب استطاعة محور التدوير الخلفي بـ 86% من استطاعة المحرك، وحين اختبار استطاعة قضيب الجر على أرضية صلبة فإنها تساوي 86% تقريباً من استطاعة محور التدوير الخلفي. إن قاعدة الـ 86% تسمح بتقدير استطاعتي محور التدوير الخلفي وقضيب الجر، لكنها ليست بديلاً عن البيانات العملية.

مسألة: قدر الاستطاعة المتوافرة عند محور التدوير الخلفي وقضيب الجر في جرّار استطاعة محركه الاسمية E_{hp} تساوي 125 حصاناً بخارياً.

الحل: باستعمال قاعدة الـ 86%:

$$PTO_{hp} = E_{hp} \times 0.86 = 125.0 \text{ hp} \times 0.86$$

$$= 107.5 \text{ or } 110 \text{ hp}$$

$$Db_{hp} = PTO_{hp} \times 0.86 \text{ or } E_{hp} \times 0.86 \times 0.86 \text{ or } E_{hp}$$

$$\times 0.7396$$

$$= E_{hp} \times 0.7396 = 125.0 \text{ hp} \times 0.7386$$

$$= 92.45 \text{ or } 92.5 \text{ hp}$$

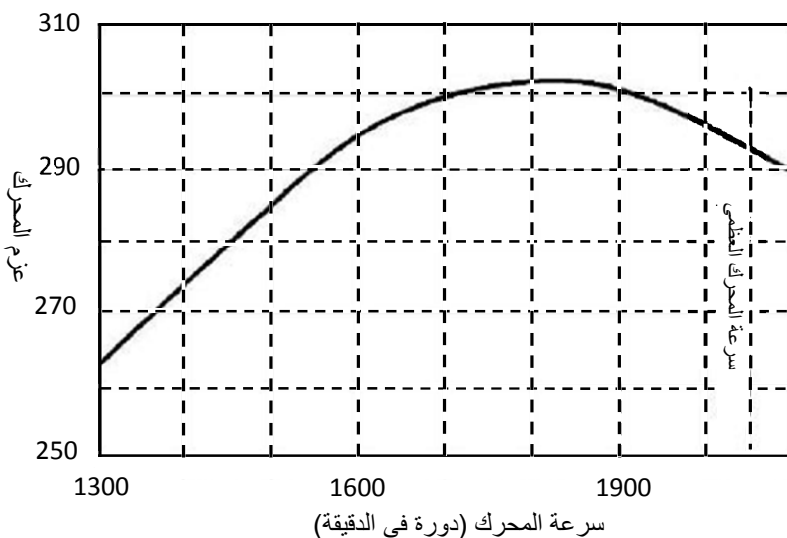
مسألة: ما الاستطاعة التقديرية لمحور التدوير الخلفي عندما يولّد الجرّار استطاعة مقدارها 50.0 حصاناً بخارياً عند قضيب الجر؟
الحل: من مناقشة قاعدة الـ 86% نعلم أن استطاعة محور التدوير الخلفي سوف تكون أكبر من الاستطاعة عند قضيب الجر. لذا:

$$PTO_{hp} = \frac{Db_{hp}}{0.86} = \frac{50.0 \text{ hp}}{0.86} = 58.139 \dots \text{ or } 58 \text{ hp}$$

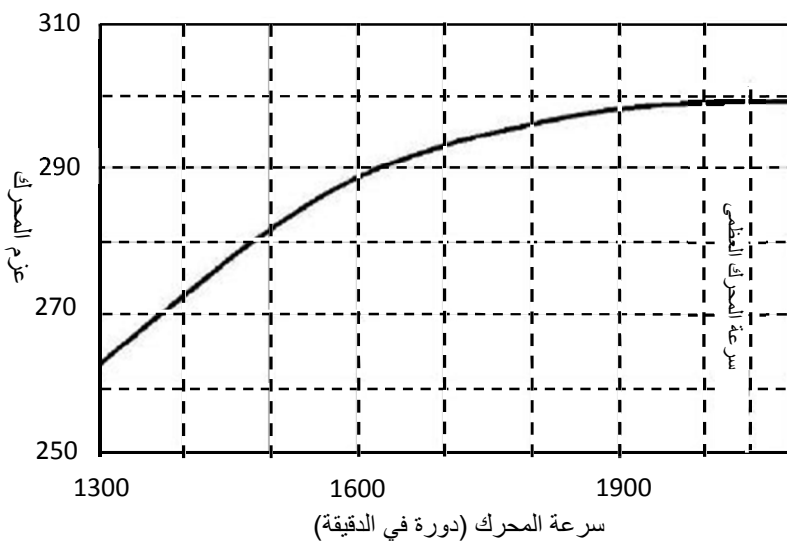
6.7 المقدرة على التحميل الزائد

من سمات الجرّارات المهمة التي تُستعمل في الحراثة الرئيسية، أو عندما يكون الجرّار مصدراً ثابتاً للاستطاعة، المقدرة على التحميل الزائد. إن المقدرة على التحميل الزائد هي تعبير عن مقدار الحمل الزائد المؤقت الذي يمكن الجرّار أن يتحمّله. ويمكن توضيح مقدرة الجرّار أو المحرك الثابت على التحميل الزائد بواسطة منحنى الاستطاعة. يُرى الشكل 2.7 منحنى استطاعة محرك مصمّم بحيث يتقبّل حملاً زائداً. لاحظ أنه عندما يحصل التحميل الزائد، ينخفض عدد دورات المحرك في الدقيقة، من قيمته العظمى التي تساوي 2050 دورة في الدقيقة إلى 1850 دورة في الدقيقة، وتزداد الاستطاعة. ويُعبّر مقدار

ازدياد عزم الدوران عن المقدرة على التحميل الزائد. قارن منحنى العزم في الشكل 2.7 بالمنحنى المبين في الشكل 3.7.



الشكل 2.7 منحنى عزم المحرك مع قابلية التحميل الزائد.



الشكل 3.7 منحنى عزم المحرك مع عدم القابلية للتحميل الزائد.

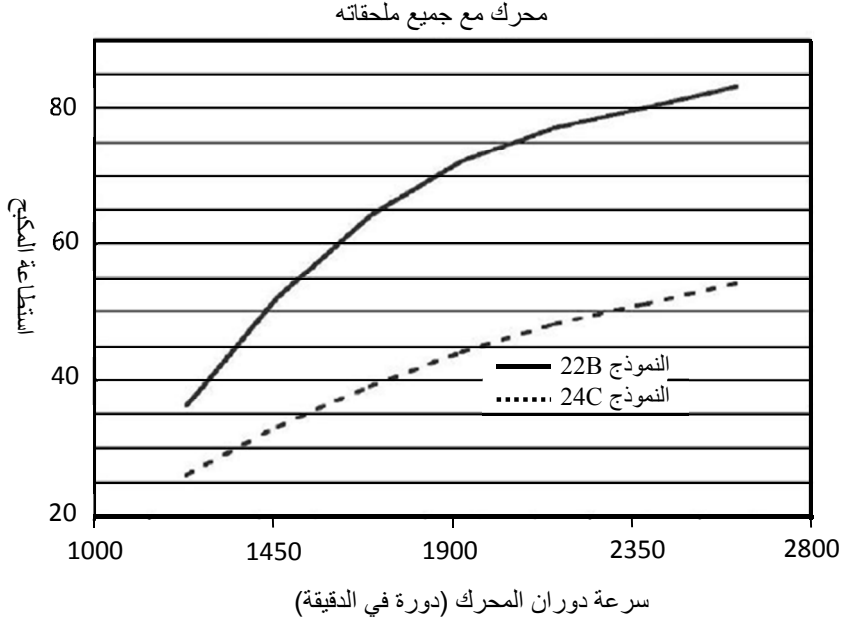
لا يتصف محرك الشكل 3.7 بأي مقدرة على التحميل الزائد لأن عزم الدوران فيه ينخفض مع انخفاض سرعة الدوران. لذا لا تحصل فيه زيادة مؤقتة في العزم لمساعدة الجرّار على جر حمل زائد.

7.7 إعادة تقدير الاستطاعة الاسمية

يُقدّم مصنّعو المحركات المخصصة لتشغيل الآلات الثابتة، مثل المضخات أو المولدات، إلى الشاري عادة منحنيًا يصف أدائه كذاك المبين في الشكل 4.7.

يُري منحني الأداء استطاعة المحرك الاسمية عند سرعات دوران مختلفة، انطلاقاً من السرعة الدنيا الموصى بها في حالة التحميل، حتى السرعة القصوى. إلا أن الاستطاعة القابلة للاستعمال تقل عن الاستطاعة الاسمية إذا تحقّق واحد من الظروف المذكورة في ما يلي. وعدم القيام بإعادة تقدير لقيمة استطاعة المحرك وفقاً لذلك يمكن أن يُقصّر من عمره.

أما العوامل المستعملة في إعادة التقدير فتعتمد على نوع المحرك وعلى بيئة تشغيله. ويُعاد تقدير استطاعة محركات الاحتراق الداخلي، ذات شمعات الإشعال ومحركات الديزل، من أجل الأخذ في الحسبان لمفاعيل الملحقات الإضافية ودرجة الحرارة والارتفاع ونوع الخدمة التي يؤديها المحرك.



الشكل 4.7 منحنيان لأداء المحرك.

8.7 الملحقات الإضافية

عندما تُعطى الاستطاعة الاسمية لمحرك بصيغته الأساسية، والتي تسمى أحياناً الاستطاعة الإجمالية، فإنها تقوم على أساس اختباره بعد إزالة جميع الملحقات الإضافية منه. وتتضمن تلك الملحقات مرشح الهواء وكاتم الصوت ومولد الكهرباء ومنظم السرعة والمروحة ومشع التبريد. وإذا كانت الاستطاعة الاسمية معطاة لمحرك مع كامل ملحقاته، وتُسمى حينئذ الاستطاعة الاسمية الصافية، يكون الاختبار قد أُجري والمحرك مجهز بجميع تلك الملحقات.

عندما تعطى استطاعة المحرك الأساسي، يجب تخفيض الاستطاعة الاسمية بمقدار 10%، وذلك بغية الأخذ في الحسبان لمفعول جميع الملحقات باستثناء

المروحة. ويجب تخفيض 5% أخرى إذا كان المحرك مزوداً بمروحة ومشع تبريد بدلاً من المبادل الحراري.

مسألة: ما مقدار الاستطاعة القابلة للاستعمال المتاحة من محرك أساسي استطاعته الاسمية تساوي 75.0 حصاناً بخارياً، وما مقدارها حين استعمال مروحة ومشع لتبريد المحرك؟

الحل: تُخفّض الاستطاعة الاسمية بـ 10% بسبب الملحقات وبـ 5% بسبب المروحة:

$$P = 75.0 \times (1.0 - (0.10 + 0.05)) = 75.0 \times 0.85 \\ = 63.75 \text{ or } 64 \text{ hp}$$

ملاحظة: يمكن الحصول على الجواب نفسه بطرح الاستطاعة الضائعة:

$$P = 75.0 \text{ hp} - \text{Loss} = 75.0 \text{ hp} - (75.0 \times (0.10 + 0.05)) \\ = 75.0 - 11.25 = 63.75 \text{ or } 64 \text{ hp}$$

يتجلى مفعول الملحقات في هذه المسألة بتخفيض الاستطاعة القابلة للاستعمال من 75 إلى 64 حصاناً بخارياً.

9.7 درجة الحرارة

يجب الأخذ في الحسبان لدرجة حرارة الجو المحيط حين حساب استطاعة المحرك، لأنه عندما تزداد درجة حرارة الهواء الذي يتنفسه المحرك، تقل كثافته ويُصبح مقدار الأكسجين في القدم المكعب من الهواء أقل. ويخفّض نقصان الأكسجين كفاءة احتراق الوقود في المحرك. وكثافة الهواء المهمة هي كثافته حين دخوله المحرك. أما في حالة المحركات التي تحتوي على عنفة لتزويد المحرك بالهواء، فتصبح كثافة الهواء أعلى من كثافة الهواء المحيطي، وهذا ما

يلغي تأثير درجة الحرارة في الاستطاعة، ولذا لا حاجة إلى إعادة تقدير الاستطاعة الاسمية من أجل درجة الحرارة. وأما في حالة محركات شمعات الاشتعال التي تتنفس طبيعياً، فيجب تخفيض الاستطاعة الاسمية بـ 1% لكل 10 درجات فهرنهايت (لكل 5.6 درجات مئوية) فوق الدرجة 85 فهرنهايت (فوق 29 درجة مئوية). وفي ما يخص محركات الديزل، يساوي تخفيض الاستطاعة الاسمية 1% لكل 5 درجات فهرنهايت (لكل 2.7 درجتين مئويتين) فوق الدرجة 85 فهرنهايت (فوق 29 درجة مئوية).

مسألة: ما مقدار الاستطاعة القابلة للاستعمال التي يعطيها محرك ذو شمعات اشتعال استطاعة المكبح فيه تساوي 165 حصاناً بخارياً عندما يعمل عند درجة حرارة هواء تساوي 100 درجة فهرنهايت؟

الحل: باستعمال التخفيض الموصى به بسبب درجة الحرارة ينتج:

$$\begin{aligned} P(\text{hp}) &= 165.0 \text{ hp} \times \left(1 - \left(0.01 \times \frac{100^\circ\text{F} - 85^\circ\text{F}}{10^\circ\text{F}} \right) \right) \\ &= 165.0 \times 0.985 \\ &= 162.525 \text{ or } 160 \text{ hp} \end{aligned}$$

يتجلى مفعول درجة الحرارة 100 درجة فهرنهايت بتخفيض الاستطاعة القابلة للاستعمال من 165 إلى 160 حصاناً بخارياً.

10.7 الارتفاع

عندما يزداد الارتفاع [عن سطح البحر]، ينخفض الضغط الجوي، ويؤدي ذلك إلى انخفاض في كفاءة المحركات ذات التنفس الطبيعي، لأنه عندما يزداد

ارتفاع المحرك يصبح الفرق بين ضغط الهواء ضمن أسطوانة المحرك خلال شوط الإدخال والضغط الجوي أقل. ويؤدي انخفاض فرق الضغط إلى نقصان مقدار الهواء الذي يتدفق إلى أسطوانات المحرك خلال شوط الإدخال.

لا يمثل الارتفاع مشكلة للمحركات ذات العنفة التي تضخ الهواء في المحرك لأن ضغط إدخال الهواء يكون كبيراً. أما في حالة المحركات ذات التنفس الطبيعي، فيجب تخفيض الاستطاعة الاسمية بمقدار 3% لكل زيادة مقدارها 1000 قدم في الارتفاع عن 500 قدم فوق سطح البحر (305 أمتار).

مسألة: ما مقدار الاستطاعة القابلة للاستعمال التي يعطيها محرك ديزل تساوي استطاعته 225 حصاناً بخارياً ويعمل عند ارتفاع يساوي 4500 قدم؟

الحل: نستعمل التخفيض الموصى به للارتفاع (ملاحظة: تختلف الطريقة المستعملة لحل هذه المسألة عن تلك التي استعملناها في حل المسألة السابقة، إلا أنه يمكن استعمال أيٍّ منهما):

$$P(\text{hp}) = 225 \text{ hp} \times \frac{100\% - \left(3.0\% \times \left(\frac{4,500 \text{ ft} - 500 \text{ ft}}{1,000} \right) \right)}{100}$$

$$= 225 \text{ hp} \times 0.88 = 198 \text{ hp}$$

جرى حل هذا المثال باستعمال النسب المئوية.

11.7 نوع الخدمة

يتحدّد نوع الخدمة التي يؤديها المحرك بكون تحميله مستمراً أو متقطعاً. والحمل المتقطع هو الحمل الذي يتغيّر من حيث عزم وسرعة الدوران. فمثلاً، تخضع جرّارات الحراثة إلى تحميل متقطع. أما الأحمال المستمرة فلا تحصل

فيها إلا تغيُّرات قليلة في عزم وسرعة دوران المحرك، ومضخات الريّ مثال لهذا النوع من الأحمال المستمرة. وقد يُعلن بعض المصنِّعين نوع الخدمة التي حدّدت الاستطاعة الاسمية من أجلها. لكن إذا لم يفعل المصنِّع ذلك، وجب تخفيض استطاعة المحرك الاسمية تبعاً لنوع الخدمة. ويجب تخفيض الاستطاعة بمقدار 10% في حالة الأحمال المتقطعة وبـ 20% في حالة الأحمال المستمرة.

مسألة: ما مقدار الاستطاعة القابلة للاستعمال التي يعطيها محرك استطاعته تساوي 115.3 حصاناً بخارياً بعد تخفيضها بسبب الملحقات ودرجة الحرارة والارتفاع حين تحميله باستمرار؟

الحل: نستعمل تخفيض الاستطاعة بسبب التحميل المستمر:

$$P(\text{hp}) = 115.3 \text{ hp} \times \frac{100\% - 20\%}{100} = 115.3 \times 0.80 \\ = 92.48 \text{ or } 92 \text{ hp}$$

يتبيّن من هذه المناقشة أنه يمكن أن يوجد فرق هام بين الاستطاعة الاسمية والاستطاعة القابلة للاستعمال في المحركات الثابتة. لاحظ أيضاً أنه إذا استُعمل جرّار لتقديم استطاعة باستمرار مدة طويلة، فإنه يجب تخفيض الاستطاعة الاسمية. وحين تخفيض استطاعة جرّار، تذكر أن استطاعة محور التدوير الخلفي تساوي استطاعة محرك مزوّد بجميع الملحقات.

شرحنا في المقطع السابق عملية تخفيض الاستطاعة الاسمية للمحرك في حالة عامل مؤثر واحد. والسؤال الذي تجب الإجابة عنه هو كيف تُخفّض استطاعة المحرك الاسمية عندما يكون هنالك أكثر من عامل مؤثر واحد.

يتحقق ذلك بجمع التخفيضات الناجمة عن العوامل الإفرادية ثم بضرب الناتج باستطاعة المحرك الاسمية.

مسألة: حدّد الاستطاعة القابلة للاستعمال التي يعطيها محرك ديزل استطاعته الاسمية 115.0 حصاناً بخارياً، وهو مزوّد بجميع الملحقات، وطبيعي التنفس، ويُشغّل بتحميل مستمر عند ارتفاع عن سطح البحر يساوي 3350 قدماً ودرجة حرارة هواء تساوي 98.5 درجة فهرنهايت.

الحل: يجب خفض استطاعة المحرك الاسمية في هذه المسألة من أجل درجة الحرارة والارتفاع والتحميل المستمر. وقد جرى الحل باستعمال النسبة المئوية ذات الفاصلة العشرية.

درجة الحرارة:

$$0.01 \times \left(\frac{98.5^{\circ}\text{F} - 85^{\circ}\text{F}}{5^{\circ}\text{F}} \right) = 0.027$$

الارتفاع:

$$0.03 \times \left(\frac{3,350 - 500}{1,000} \right) = 0.0855$$

التحميل المستمر: يتطلب تخفيض بـ 20%.

التخفيض الكلي = التخفيض الناجم عن درجة الحرارة + التخفيض الناجم عن الارتفاع + التخفيض ناجم عن التحميل المستمر

$$\text{Total} = 0.027 + 0.0855 + 0.20 = 0.3125$$

الاستطاعة القابلة للاستعمال:

$$P(\text{hp}) = 115.0 \text{ hp} \times (1 - 0.3125) = 79.0625 \text{ or } 79.1 \text{ hp}$$

يعطي محرك الديزل ذو التنفس الطبيعي والاستطاعة الاسمية 115.0 حصاناً

بخارياً في الظروف المفترضة استطاعة قابلة للاستعمال تساوي 79.1 حصاناً بخارياً.

12.7 اختبار الجرّارات

صُمِّمَت الجرّارات الأولى لتقديم استطاعة بثلاث طرائق: بواسطة بكرة وسير، وبواسطة قضيب جر، وبواسطة محور التدوير الخلفي. أما في الجرّارات الحديثة، فقد ألغيت البكرة والسير. وإحدى المشاكل التي واجهت مستعمل الجرّار منذ أول تصميم له هي انعدام المعلومات عن تخفيض الاستطاعة الاسمية الذي يجب القيام به. فما كان شائعاً هو أن المصنّعين لم يعلنوا استطاعة قضيب الجرّ ومحوّر التدوير الخلفي في جرّاراتهم، بل كانوا يعلنون استطاعة المكبح أو المحرك. وإذا استُعملت استطاعة المحرك، كانت استطاعة اسمية نظرية.

لكن في عام 1918، أصدر مجلس ولاية نبراسكا الأميركية قانوناً أُسِّسَت بموجبه محطة نبراسكا لاختبار الجرّارات. ونص ذلك القانون على أنه يجب اختبار نموذج من الجرّار قبل أن يكون من الممكن بيعه ضمن ولاية نبراسكا، وأن على المصنّع أن يُنشأ مستودعاً لقطع تبديل للجرّار في الولاية. وقد وفّرت محطة الاختبار تلك التقييم المستقل الوحيد للجرّارات في الولايات المتحدة.

ومع مرور الوقت وانتقال نسبة كبيرة من صناعة الجرّارات إلى خارج الولايات المتحدة، نشأت حاجة إلى التغيير. وقد حصل تغييران: غُيِّرَ قانون نبراسكا بحيث يسمح ببيع الجرّارات في نبراسكا بموجب اختبار محطة نبراسكا أو بموجب اختبار منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD)، وغُيِّرَ اختبار نبراسكا بحيث يتوافق مع المعايير التي وضعتها جمعية مهندسي السيارات

(Society of Automotive Engineers) (SAE) الأمريكية والجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين والبيولوجيين (Agricultural and Biological Engineers) (ASABE). وتقوم محطة نبراسكا حالياً بإجراء أيّ من الاختبارين بناء على طلب المصنّع. ليس من الممكن تقديم مراجعة كاملة للمعايير هذين الاختبارين في هذا الكتاب، بل سوف نقدم في ما يلي مناقشة لمبادئ الاختبار العامة ولطريقتي الاختبار. ويمكن الحصول على تقارير مختلفة ومعلومات إضافية من محطات الاختبار^{1,2}.

13.7 مبادئ الاختبار

نظراً إلى الدور الهام الذي تؤديه الجرّارات في الإنتاج الزراعي، تُعتبر المعلومات الدقيقة ضرورية من أجل الإدارة الكفوءة للمزارع ومُرابي الماشية الحديثة. إن كل المعلومات مفيدة، إلا أن الهدف الرئيسي من الاختبار هو توفير نتائج قياسات معيارية تمكّن من إجراء مقارنات بين النماذج المختلفة، وأخرى بين النماذج نفسها المصنوعة في سنوات مختلفة. والهدف الرئيسي من معايير اختبار الجرّارات هو توفير ظروف الاختبار وقواعده للمصنّعين ومحطات الاختبار.

من الواضح أن الجرّارات آلات معقدة تتطوي على كثير من العوامل المختلفة التي تؤثر في الاستطاعة التي تولّدها، وفي مردود الوقود. ونظراً إلى الاستعمال

¹ *OECD Standard Codes for the Official Testing of Agricultural Tractors*, Organisation for Economic Cooperation and Development, 1988. 2, rue Andre-Pascal, 75775 Paris CEDEX 16, France.

² Nebraska Test Station, Agricultural Engineering Department, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln. Nebraska 68583.

الواسع النطاق للبيانات، يرغب المصنّعون في ضمان حصولهم على أفضل النتائج الممكنة. ولتوفير معلومات معيارية، يجب أن تبقى بيئة الاختبار هي نفسها لكل الاختبارات على مدى الأيام والسنين، أو يجب تقصّي إدخال تغييرات فيها بحيث يمكن إدخال تعديلات مناسبة على النتائج. تُسمّى هذه العوامل في كل من الاختبارين بظروف الاختبار.

تتضمن ظروف الاختبار قواعد اختيار الجرّار والتحكّم في الظروف البيئية وتسجيلها. وفي أثناء اختبار محور التدوير الخلفي مثلاً، يجب التحكّم في درجة الحرارة والضغط الجوي ونوع الوقود ودرجة حرارته وكميته، وفي مواد التشحيم والتجهيزات الملحقة بالجرّار، وتسجيلها جميعاً لضمان أنها تقع ضمن الحدود المقبولة. والتحكّم الصارم في هذه العوامل ضروري لأن كثيراً من الاختبارات يقيس استطاعة الجرّار الاسمية، وكلّ من تلك العوامل يؤثّر في الاستطاعة الناتجة.

وفي حالة اختبار قضيب الجر يجب الأخذ في الحسبان لجميع العوامل البيئية التي تدخل في اختبار محور التدوير الخلفي، إضافة إلى تلك التي تؤثر في الجر. وتتضمن الأخيرة أثقال الموازنة وإطارات الدواليب وسطح الاختبار. وهذه الأشياء مهمة لأن مقدار قوة الجر التي يمكن الجرّار توليدها في قضيب الجر يتأثّر كثيراً بمقدار الشد. وتوجد في كل من محطتي الاختبار المذكورتين أنفاً معايير صارمة بخصوص كيفية التحكّم في تلك العوامل وتسجيلها.

وإضافة إلى تلك الظروف، يجب توصيف إجراءات الاختبار بحيث تتضمن قواعد تحكم أشياء مثل التعطّل وتكرار الاختبارات وملحقات منظومات الاختبارات التي من قبيل المنظومات الهيدروليكية، ومعايير الأمان والسلامة، ومعايير الضجيج، وطرائق توثيق وتوزيع النتائج.

14.7 مسائل بالوحدات المترية

مسألة: حدّد الاستطاعة التي يعطيها جرّار عندما يولّد قوة مقدارها 6.67 كيلو نيوتن في أثناء سيره بسرعة 9.0 كيلومترات في الساعة.

الحل:

$$P(\text{kW}) = \frac{F(\text{kN}) \times V(\text{km/hr})}{3.6} \\ = \frac{6.67 \text{ kN} \times 9.0 \text{ km/hr}}{3.6} = 16.7 \text{ kW}$$

ملاحظة: يتضمن الملحق 2 التحويل من الوحدات العادية الأميركية إلى الوحدات المترية. ويمكن تحويل جواب هذه المسألة إلى حصان بخاري باستعمال التحويل الملائم. تساوي نتيجة هذه المسألة بالحصان البخاري:

$$\text{hp} = \frac{16.68 \text{ kW}}{0.7346999 \frac{\text{kW}}{\text{hp}}} = 22.368 \dots \text{ or } 22.37 \text{ hp}$$

مسألة: حدّد الاستطاعة القابلة للاستعمال التي يعطيها محرك بنزين يُستعمل للري وتساوي استطاعته 120 كيلو واط ويتنفس طبيعياً ويُسَّخَّل مع مروحة ومشع حراري ويتحمّل مستمر. وهو موجود على ارتفاع 1,000 قدم، وتساوي درجة حرارة الهواء المحيط به 38 درجة مئوية.

الحل: عملية الحل مماثلة لحالة الوحدات العادية، والفرق الوحيد هو في القيم المستعملة. وفي ما يخص هذا المثال سوف نستعمل التحويل المباشر وفقاً للجدول 1.7.

الجدول 1.7 تحويلات مباشرة لعوامل تخفيض الاستطاعة الاسمية.

الملحقات الإضافية	10% باستثناء المروحة
	5% للمروحة والمشع
درجة الحرارة	1% لكل 5.6 درجة فوق 29 درجة مئوية لمحركات الغازولين
	1% لكل 2.7 درجة فوق 29 درجة مئوية لمحركات الديزل
الارتفاع	3% لكل 305 أمتار فوق 152 متراً فوق سطح البحر
نوع الخدمة	10% للتحميل المتقطع
	20% للتحميل المستمر

تتحدد الاستطاعة القابلة للاستعمال بعد تحديد ضياعات الاستطاعة الكلية:

$$\text{Power Loss (\%)} = L_{acc} + L_{alt} + L_{temp} + L_{duty}$$

حيث PL هي الضياعات الكلية، و L_{acc} هي ضياعات الملحقات، و L_{alt} هي ضياعات الارتفاع، و L_{temp} هي ضياعات درجة الحرارة، و L_{duty} هي ضياعات التحميل.

$$L_{acc} = 0.10 + 0.05 = 0.15$$

$$L_{alt} = 0.03 \times \left(\frac{1000 \text{ m} - 152 \text{ m}}{305 \text{ m}} \right) = 0.03 \times 2.78 \dots = 0.083$$

$$L_{temp} = 0.01 \times \left(\frac{38 - 29}{5.6} \right) = 0.01 \times 1.906 \dots = 0.016$$

$$L_{duty} = 0.20$$

$$L_{total} = 0.05 + 0.083 + 0.016 + 0.20 = 0.349$$

$$\begin{aligned} P_{use} &= 120 \text{ kW} - (120 \text{ kW} \times 0.349) \\ &= 120 \text{ kW} - 41.88 \text{ kW} \\ &= 78.12 \text{ kW} \end{aligned}$$

حيث L_{total} هي نسبة الضياعات الكلية، و P_{use} هي الاستطاعة القابلة للاستعمال. يساوي مجموع الاستطاعات الضائعة في هذا المحرك 41.88 كيلو واط، وتساوي الاستطاعة القابلة للاستعمال 78.12 كيلو واط.

8.

معايرة الآلات

1.8 الأهداف

1. فهم الحاجة إلى تقييم أداء الآلات.
2. فهم مبادئ المعايرة.
3. التمكن من معايرة ناشر السماد بالنثر.
4. التمكن من معايرة غرّاة الحبوب.
5. التمكن من معايرة زراعات النباتات الصفية.
6. التمكن من معايرة البذارة الهوائية.
7. التمكن من معايرة الرشاش الحقلي.
8. التمكن من تحضير المزيج المناسب من الكيماويات والماء للرشاش.

2.8 تقديم

من مهام الآلات الزراعية نشر المواد، مثل البذور والأسمدة ومبيدات الحشرات. وقد صُمّمت تلك الآلات بحيث تنتشر المواد بمعدلات وأنماط ثابتة أو متغيرة. والآلة التي تُحقق في النشر بالمعدل والنمط المطلوبين يجب ألا تُستعمل. فالمقدار غير الكافي من المادة لا يعطي النتيجة المرغوب فيها،

والمقادير الزائدة تمثل هدراً قد يؤدي إلى الإضرار بالمحصول، ويمكن أن يسهم في تلويث البيئة. ونمط التوزيع غير الصحيح يمكن أن يسبب تراكباً للمواد فوق بعضها، أو يمكن أن يترك فجوات بينها. وتُوفّر مخططات وجداول المعايرة عادة من قبل مصنّعي الآلات ضمن كُتَيّبات الاستعمال، أو من قبل مورّدي المواد الذين يقومون بنشرها وتوزيعها. ويمكن تلك المخططات والجداول أن تضع أو تتلف تاركة مشغلي الآلات من دون معلومات أو بمعلومات غير كافية.

توجد عدة أسباب للتوزيع غير الصحيح للمواد. فقد تكون الآلة معطّلة أو معدّلة. ويمكن اختلافات أوزان البذور وحجومها ودرجة رطوبتها ونظافتها، أو لاختلافات الصفات المادية (التكثّل وقابلية التدفق) للسماد أو حُبَيّبات المبيدات الحشرية أن تسهم جميعاً في معدل ونمط التوزيع غير الدقيق. لذا فإنّ الخسائر الاقتصادية والأضرار البيئية التي يمكن أن تنجم عن التطبيق غير الصحيح للمواد تقتضي صرف الوقت والجهد الكافيين لضمان عمل الآلة على النحو المرضي بالمقدار والنمط المطلوبين.

يُسمى فحص معدل ونمط التوزيع الذي تقوم به الآلة وضبطهما بالمعايرة. ونظراً إلى أن الإجراءات المتبعة لمعايرة الآلات وغيرها من تجهيزات القياس تختلف من حالة إلى أخرى، فإننا سوف نستعرض في هذا الفصل معايرة أربع آلات شائعة لنشر المواد الزراعية.

3.8 مبادئ المعايرة

ناقشنا في الفصل الأول سِمَتَيْن للمسائل الرياضية يجب تطبيق كل منهما حين معايرة آلات نشر المواد الزراعية. إن من النادر لآلة النشر أن توزّع المادة

توزيعاً مرغوباً به حين نشرها لها، ومن ثَمَّ فإن الكمال غير متوقَّع، ولا بد من تحديد مستوى مقبولاً للتوزيع. ويختلف مقدار الخطأ الذي يمكن اعتباره مقبولاً من آلة إلى أخرى ومن حالة إلى أخرى. وفي بعض الحالات، وُضِعت توصيات ومعايير، وفي حالات أخرى تُرك الأمر لمالك أو مشغِّل الآلة لتحديد مقدار الخطأ المقبول. وسوف نناقش في ما يلي معايير القبول للآلات المختلفة بمزيد من التفصيل.

تقوم كل الطرائق المستعملة في معايرة الآلات الزراعية على ثلاثة مبادئ:

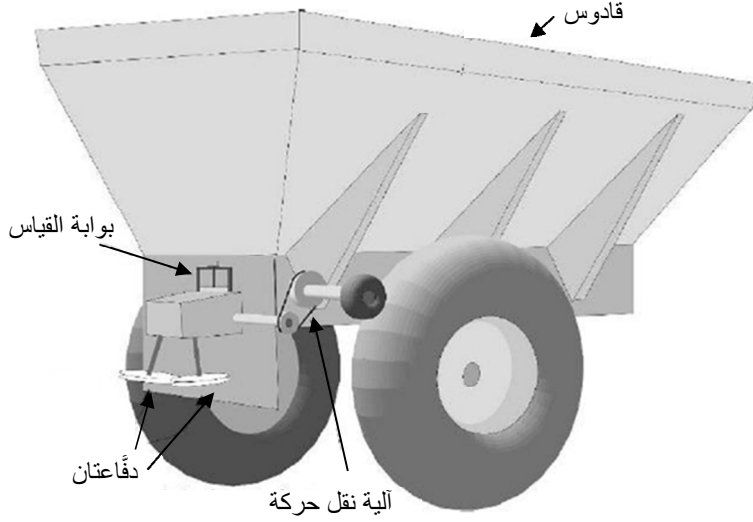
(1) تتحكَّم كل آلات التوزيع بمعدل تدفق المادة عند قيمة محدَّدة سلفاً من قبل مشغِّل تلك الآلات، و (2) تحصل المعايرة بجمع كميات من المادة الموزعة أو المنشورة بواسطة الآلة على أساس الحجم أو الوزن أو الكتلة أو عدد الحُبَّيبات أو البذور لوحدة المساحة. على سبيل المثال، لمعايرة زُرَّاعة النباتات الصفيَّة من الضروري تحديد عدد البذور للإيكر أو الهكتار. ولمعايرة الرشَّاش، يتحدَّد معدَّل الرش بوحدة الغالون للإيكر أو اللتر للهكتار. ويتحدَّد معدَّل البذر لبعض الأعشاب بالبُشِّل للإيكر أو باللتر للهكتار. ويُطبَّق الجير بالطن للهكتار. أما وحدة المساحة التي تُستعمل في أثناء المعايرة فهي عادة الإيكر أو الهكتار أو بعض أجزائهما. (3) ثمة طريقتان لجمع المادة التي يجري نشرها: في أثناء الثبات أو الحركة. في أثناء الثبات، يُرفع الدولاب الذي يحرك وحدة القياس في الآلة بحيث لا يلامس سطح الأرض ثم يُدَوَّر عدداً محدَّداً من الدورات. وفي طريقة المعايرة في أثناء الحركة، تُعترض المادة التي يجري نشرها بواسطة وعاء في أثناء حركة الآلة في الحقل. أما مزية طريقة الثبات فهي أنه تمكَّن معايرة الآلة خارج أوقات العمل. وأما طريقة الحركة فهي المفضلة للآلات التي تحتوي على عدد كبير من نقاط القياس، وقد تكون الخيار الوحيد حين استعمال آلات

غير ذات دواليب أرضية لتحريك آلية القياس. يُضاف إلى ذلك أنه كلما كانت مساحة المنطقة المستعملة للمعايرة أكبر، كانت إجرائية المعايرة أدق.

4.8 معايرة نواشر السماد

تُتشر الأسمدة التي تمثل الدعامة الأساسية للزراعة على شكل سائل أو غاز أو حُبَيَّات. وفي هذا المقطع سوف نناقش معايرة نواشر السماد الحُبَيَّي. أما معايرة نواشر السماد السائل، فتقوم على مبادئ مماثلة لمبادئ معايرة رشاشات المبيدات الكيميائية التي سوف نناقشها في مقطع لاحق. وفي ما يخص الأسمدة الغازية، فهي تحتاج إلى تجهيزات متخصصة إضافة إلى أن استعمالها خطر جداً. لذا لم نُضمّن هذا الكتاب تجهيزات نشر الأسمدة الغازية.

يُصنّف معظم نواشر السماد في فئتين هما فئة نواشر السماد بالنثر، وفئة نواشر السماد بالتدفق الثقالي. وعلى غرار جميع الآلات الزراعية، ثمة تصاميم مختلفة لنواشر السماد، إلا أن الناشر الشائع الذي يجزّه جرّار يتألف من قادوس يحوي المادة، وآلية قياس وآلية نشر أو توزيع. انظر الشكل 1.8. وتختلف سعة القادوس تبعاً لمقاس الآلة. ويُجرى القياس عادة بواسطة جنزير متغيّر السرعة في أسفل القادوس مع فتحة قابلة للضبط. ونظراً إلى أن دولاباً أرضياً يحرك الجنزير، فإن مقدار المادة المنشورة يتغيّر مع تغيّر سرعة الناشر. وتُدار الدفّاعة عادة بواسطة محور التدوير الخلفي الجرّار، ويجب أن تدور بسرعة ثابتة كي تكون أنماط النشر متجانسة.

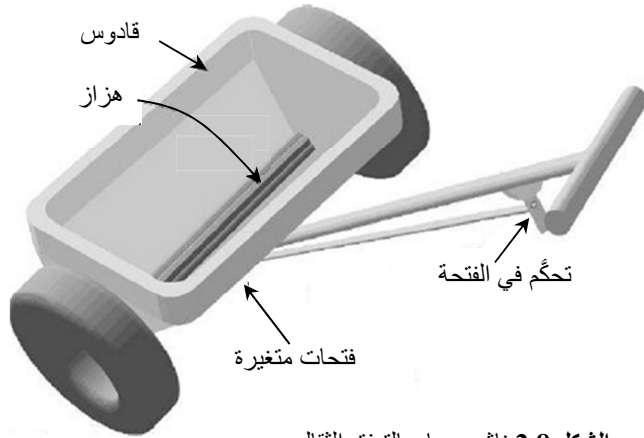


الشكل 1.8 ناشر سماد بالنشر.

يتحدّد معدل نشر المادة في هذا التصميم بتغيير نسبة السرعة في آلية نقل الحركة التي تحرّك آلية القياس، وبتغيير مقاس فتحة بوابة القياس. وتُسمى عملية استعمال فتحة متغيّرة للقياس بالقياس الكمي، وفيها يُقاس حجم المادة التي يتم نشرها. وتنتشر المادة عادة حين سقوطها على قرص دوّار أو أكثر، أي على دفاعات تقذفها في أنماط واسعة خلف أو أمام الناشر. وفي تصميم آخر، تُحرّك الدفاعتان بواسطة أحد الدواليب الأرضية، وبذلك تتنفي الحاجة إلى التحريك بواسطة محور التدوير الخلفي أو أي مصدر تحريك آخر.

ويُستعمل في ناشر السماد بالندفق الثقالي قادوس أيضاً، وفقاً للمبين في الشكل 2.8، إلا أن القادوس يمتد في هذا النوع من التصميم على عرض الآلة. وتُنشر المادة من خلال فتحات في أسفل القادوس. ويتحدّد معدل تدفق المادة

بمقاسات الفتحات. ويُستعمل في هذا التصميم هزاز في أسفل القادوس لمنع المادة من التكتُّل وسد الفتحات، وبذلك يتحسن تجانس التدفق. وتتدفق المادة عبر الفتحات إلى سطح التربة.



الشكل 2.8 ناشر سماد بالتدفق الثقالي.

كانت نواشر السماد بالتدفق الثقالي في الماضي شائعة في الزراعة، إلا أن محدودية عرضها العملي أبطلت استعمالها تقريباً. ومع ذلك ما زالت النواشر الصغيرة مستعملة للحدائق والحالات الأخرى التي يمكن فيها عرضاً مقداره 18-24 إنشاً أن يكون ملائماً.

تُمكن معايرة كلا نوعي نشر السماد باستعمال أيٍّ من طريقتي الثبات أو الحركة. وفي الحالتين، يساوي معدل النشر R وزن المادة التي يجمعها دولاب التحريك في كل دورة مقسوماً على المساحة التي يحصل النشر عليها. وتحدد هذه المساحة بضرب عرض الآلة (w) بالمسافة المقطوعة في عملية النشر.

وتتحدّد المسافة المقطوعة بضرب طول محيط الدولاب ($2\pi r$) بعدد دورات دولاب التحريك (n_r). وتأخذ هذه العلاقة شكل المعادلة التالي:

$$R \left(\frac{\text{lb}}{\text{ac}} \right) = \frac{W(\text{lb})}{A(\text{ac})}$$

حيث R هو معدل النشر مقدراً بالليبرة للإيكر، و W هو وزن المادة مقدراً بالليبرة، و A هي المساحة مقدرة بالإيكر.

وتمكّن كتابة هذه العلاقة بالشكل التالي أيضاً:

$$R = \frac{W}{w \times 2\pi r \times n_r}$$

حيث n_r هو عدد دورات دولاب التحريك، و r هو نصف قطر الدولاب، و w هو العرض.

لكي تعابير الناشر باستعمال طريقة الثبات، يُرفع دولاب تحريك آلية القياس وتُجمع المادة في في أثناء دوران دولاب التحريك عدداً معيناً من الدورات. حينئذ، يساوي وزن المادة المجمّعة المقسوم على عدد الدورات وزن المادة المنشورة في الدورة الواحدة. وتتحدّد المساحة التي تُنشر المادة عليها خلال دورة واحدة بضرب طول محيط دولاب التحريك بعدد الدورات ويعرض الناشر الفعال، ثم تُحوّل وحدة المساحة الناتجة إلى إيكر:

$$A(\text{ac}) = 2\pi \times r(\text{ft}) \times n_r \times w(\text{ft}) \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2}$$

حيث 43,560 هو عدد الأقدام المربعة في الإيكر. وينتج من المعادلة الأخيرة بعد ضم الثوابت معاً:

$$A(\text{ac}) = \frac{2\pi}{43,560} \times r(\text{ft}) \times n_r \times w(\text{ft})$$

$$= 0.0001442 \times r \times w \times n_r \text{ or } (1.442 E - 4) \times r \times w \times n_r$$

وحين معايرة الناشر في حالة الثبات، يمكن تحديد معدل النشر بالعلاقة:

$$R \left(\frac{\text{lb}}{\text{ac}} \right) = \frac{W(\text{lb})}{(1.4420 E - 4) \times r(\text{ft}) \times w(\text{ft}) \times n_r(\text{rev})}$$

مسألة: قُمتَ بضبط الناشر العائد إلى جارك بحيث ينشر 1200 ليبرة سماد في الإيكر. وحين معايرته في حالة الثبات، جرى جمع 160.0 ليبرة من السماد في أثناء دوران دولاب التحريك 15 دورة. ويساوي نصف القطر الفعال لدولاب التحريك 21.0 إنشاً، ويساوي عرض الناشر 30.0 قدماً. فهل معدل النشر صحيح؟

الحل:

$$\begin{aligned} R \left(\frac{\text{lb}}{\text{ac}} \right) &= \frac{W(\text{lb})}{0.0001442 \times r(\text{ft}) \times w(\text{ft}) \times n_r(\text{rev})} \\ &= \frac{160.0 \text{ lb}}{0.0001442 \times \frac{21.0 \text{ in} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}}}{1 \text{ rev}} \times 30.0 \text{ ft} \times 15 \text{ rev}} \\ &= \frac{160.0}{0.1135575} = 1408.977 \dots \text{ or } 1,400 \frac{\text{lb}}{\text{ac}} \end{aligned}$$

ينشر الناشر في هذه المسألة مادة بمعدل يزيد بـ 200 ليبرة للإيكر على

المعدل المرغوب فيه. فهل هذا المستوى من الدقة مقبول؟ هل يجب فحص ومعايرة آلية القياس؟ ليس ثمة من معيار متفق عليه لتحديد الخطأ المسموح به لناشر السماد بالنثر. لكن إحدى طرائق تقييم الخطأ هي حساب نسبته المئوية. في هذا المثال، يساوي الخطأ 17%، أي $\left[\frac{200 \text{ lb/ac}}{1200 \text{ lb/ac}} \times 100 \right]$. ويعود إلى مالك الناشر أو مستعمله قبول هذا المستوى من الخطأ أو رفضه.

العيب الرئيسي في معايرة ناشر السماد بالنثر في حالة الثبات هو مشكلة جمع السماد في أثناء عملية المعايرة (160 ليبرة في هذا المثال). ويمكن أن تكون كمية المادة المجمعة أكبر حينما يكون معدل النشر أو عدد الدورات المطلوبين أكبر. أما المزية الرئيسية فيها فهي أنه يمكن إجراؤها حينما يتعذر استعمال الناشر في الحقل بسبب الوحل أو الطقس العاصف.

وطريقة المعايرة الأخرى هي المعايرة في أثناء الحركة. ويمكن تحقيق ذلك بطريقتين. توضع أوعية مسطحة أو أعطية منسوجة من ألياف القنب أوالبلاستيك عشوائياً في مسار النشر، أو توضع أدوات تجميع في صف معامد لمسار الناشر. وبعد تحريك الناشر فوق المجمعات وجمع المادة، يجري وزنها. ويُحسب معدل النشر بتقسيم كمية المادة المجمعة على مجموع مساحات المجمعات، ثم تُحوّل وحدة الجواب إلى وحدات الحجم أو الوزن أو الكتلة المرغوب فيها مقسومة على وحدة المساحة. من مزايا صف المجمعات المعامد لمسار الناشر هي أنه يمكن تقييم أنماط التوزيع برسم المقدار المجمع بواسطة كل مجمع على شكل خط بياني.

مسألة: ما مقدار معدّل النشر الناتج عن نشر 23.5 ليبرة من المادة على

غطاءين من ألياف القنب عرض وطول كل منهما يساويان 10.0 قدم \times 12.0 قدم؟

الحل:

$$R\left(\frac{\text{lb}}{\text{ac}}\right) = \frac{W(\text{lb})}{A(\text{ac})} = \frac{23.5 \text{ lb}}{2 \times 10.0 \text{ ft} \times 12.0 \text{ ft} \times \frac{1 \text{ ac}}{43560 \text{ ft}^2}} \\ = \frac{23.5}{0.005509 \dots} = 4265.25 \text{ or } 4260 \frac{\text{lb}}{\text{ac}}$$

ملاحظة: هذا مثال للحالة التي يوجد فيها لُبس في عدد الأرقام ذات الدلالة بسبب ترك صفر في الجواب حين التدوير. ولإزالة هذا اللبس تجب كتابة الجواب بالصيغة 4.260 E3.

لا تتطلب هذه الطريقة رفع دولاب الناشر، لكن عليك أن تكون قادراً على تحريك الناشر في الحقل أو فوق مساحة واسعة سعة أنماط النشر. طبعاً، إذا نشر الناشر كميات زائدة من المادة، حصل تسميد زائد لمنطقة الاختبار.

مسألة: حدّد معدل النشر وأنماط التوزيع لناشر سماد بالنشر جرت معاييرته بوضع 20 مجّماً، مساحة الواحد منها 2 قدمين مربعين، على صف معامد لاتجاه حركة الناشر. يساوي معدل النشر المطلوب 800 ليبرة للإيكر. يتضمن الجدول 1.8 أوزان السماد التي جُمعت.

الجدول 1.8 كميات السماد التي جُمِعت خلال معايرة ناشر سماد بالنثر في أثناء الحركة.

رقم المجمع	الوزن (ليبرة)	رقم المجمع	الوزن (ليبرة)
1	0.000	11	0.062
2	0.008	12	0.060
3	0.014	13	0.057
4	0.016	14	0.052
5	0.020	15	0.048
6	0.023	16	0.041
7	0.030	17	0.035
8	0.038	18	0.026
9	0.050	19	0.017
10	0.062	20	0.00

الحل: الخطوة الأولى هي تحديد المعدل بجمع الكميات الموجودة في المجمعات التي يساوي عددها $n_c = 18$ (ملاحظة: استعمل 18 مجمعاً فقط لتحديد المساحة لأن المجمعين الأول والأخير لم يحتويوا على مادة). ثم يُحسب معدل النشر على أساس أن مجموع أوزان الكميات الكلي يساوي W_t :

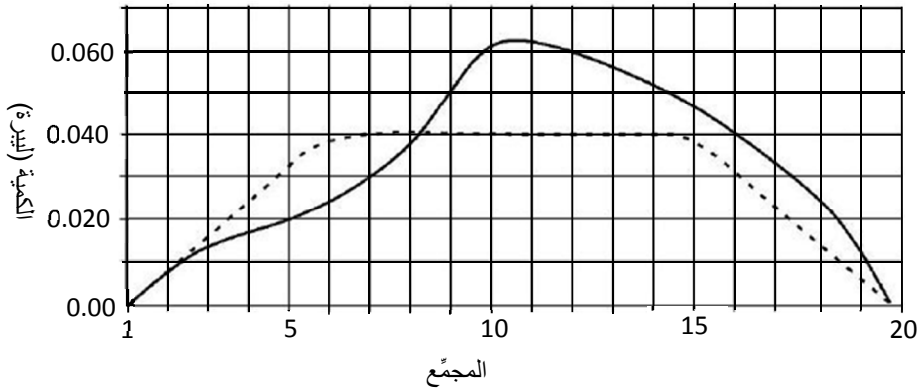
$$\begin{aligned}
 R \left(\frac{\text{lb}}{\text{ac}} \right) &= \frac{W_t(\text{lb})}{n_c \times A(\text{ac})} \\
 &= \frac{0.659 \text{ lb}}{18 \text{ collector} \times 2 \frac{\text{ft}^2}{\text{collector}} \times \frac{1 \text{ ac}}{43560 \text{ ft}^2}} \\
 &= \frac{0.659}{0.0008264 \dots} = 797.39 \text{ or } 797 \frac{\text{lb}}{\text{ac}}
 \end{aligned}$$

مجمّع: collector.

ينشر الناشر 797 ليبرة للإيكر. وفي هذه المسألة، تساوي النسبة المئوية للخطأ:

$$e\% = \frac{800 - 797}{800} \times 100 = 0.38\%$$

وهذا مستوى خطأ مقبول. وتُستكمل المعايرة برسم منحنى أنماط توزع المادة وفقاً للمبين في الشكل 3.8.



الشكل 3.8 منحنى توزع السداد الذي يحققه الناشر بالنثر.

يمثل الخط المقطع في الشكل 3.8 التوزع المثالي أو المقبول في حالة أنماط النشر المتراكبة. ويمثل الخط المستمر التوزع الفعلي الذي يحققه الناشر. ومن الواضح أن ثمة مشكلة في هذا الناشر. فمع أن معدل النشر مقبول، فإن توزع المادة غير مقبول. لذا يجب تحديد سبب التوزيع السيئ وإصلاح العطل قبل الاستعمال.

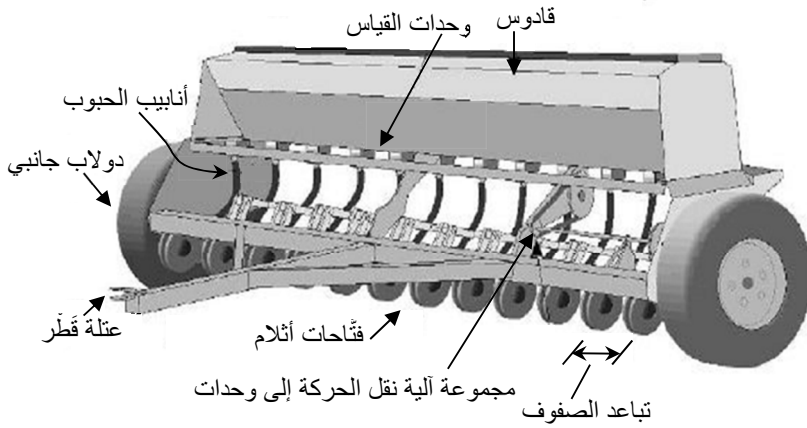
ويمكن اتباع طريقة أخرى للمعايرة في أثناء الحركة إذا كان من المؤكد أن

أنماط التوزيع دقيقة بقدر كاف. زن الناشر أولاً، ثم حرّكه فوق منطقة مساحتها معروفة. ثم زنه ثانية. فيكون الفرق بين الوزنين هو وزن المادة المنشورة. ونظراً إلى أن المساحة معروفة سلفاً، فإن من السهل حساب معدل النشر باستعمال معادلة المعايرة في أثناء الحركة.

يمكن استعمال كلتا هاتين الطريقتين لمعايرة ناشر السماد. أما اختيار الطريقة والمادة المستعملة فيعود إلى الشخص الذي يقوم بالمعايرة.

5.8 معايرة غرّاة الحبوب

تتألف غرّاة الحبوب الشائعة ذات الدولايبين الجانبيين من قادوس ووحدة قياس وأنبوب حبوب وفتّاحة تلم لكل صف، وآلية نقل حركة إلى وحدة القياس. انظر الشكل 4.8. ويُستعمل في غرّاة الحبوب أيضاً قياس الكتلة أو الحجم. ويساوي التباعد بين الصفوف عادة 6-10 إنشات (15-25 سنتيمتر). واستعمال تباعد الصفوف وعدد وحدات القياس هو الطريقة الشائعة لحساب عرض الغرّاة. فالغرّاة 6-13 تحتوي على 13 وحدة قياس مع تباعد بين الصفوف يساوي 6 إنشات، ويساوي عرضها $6 \text{ ft} = 12 \times 6 / 12$ (عدد الفواصل بين الصفوف يساوي 12). إن معايرة غرّاة الحبوب أكثر تعقيداً من معايرة ناشر السماد لأن الغرّاة تنشر حبوباً. والخطأ الصغير في معدل البذر يمكن أن يكون ذا تأثير كبير في الإنتاجية مقارنة بخطأ نشر السماد. يُضاف إلى ذلك أن من الضروري بذر الحبوب بانتظام. وتُعَايَر غرّازات الحبوب في الثبات أو الحركة. ويمكن استعمال طريقة حذف الوحدات في حسابات كلتا الحالتين. وفي كلتا الطريقتين تُعَلَّق حاوية بكل وحدة قياس، وتُحرَّك الغرّاة مسافة محدّدة (في حالة الحركة)، أو تُرْفَع على رافعة ويجري تدوير دولايب التحريك عدداً من الدورات (في حالة الثبات).



الشكل 3.8 زراعة الحبوب ذات الدولاب الطرفي.

مسألة: جُهزت غرّاة حبوب 6-18 (18 وحدة قياس وتباعد بين الصفوف يساوي 6 إنشات) بحيث تزرع 1.0 بُشَل من القمح في الإيكر. ويتضمن الجدول 2.8 كميات الحبوب التي جُمعت في أثناء المعايرة. يساوي قطر دولاب التحريك 26.0 إنشاً، وجرى تدوير الدولاب 25 دورة. هل تزرع الآلة الكمية الصحيحة من الحبوب؟ **ملاحظة:** نظراً إلى أن كل دولاب جانبي يُحرّك نصف عدد وحدات القياس فقط، فقد أدرجنا كميات 9 وحدات فقط في الجدول 2.8.

الجدول 2.8 أوزان القمح الذي جُمع في 9 وحدات قياس في غرّاة حبوب.

الوحدة	1	2	3	4	5	6	7	8	9
الوزن (البيرة)	0.10	0.10	0.12	0.10	0.11	0.11	0.11	0.15	0.13

الحل: نحدّد في الخطوة الأولى الوزن الكلي للحبوب المجمعة:

$$\begin{aligned}
 W_t &= 0.10 + 0.10 + 0.12 + 0.10 + 0.11 + 0.11 + 0.11 \\
 &\quad + 0.15 + 0.13 \\
 &= 1.03 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

الخطوة التالية هو تحديد معدل البذر بشكل (bu) في الإيكر. ولإكمال هذه الخطوة، يمكن تجزئة المسألة إلى خطوات عدة أو يمكن استخدام تفاني الوحدات في معادلة واحدة مستمرة. وباستخدام هذا المفهوم يمكن معايرة الغرزة بتحديد الحجم (bu) والمساحة (ac) ومن المعتاد استخدام قياس الحجم (bu) للتعبير عن معدل الغرز المرغوب به. وهذا يعني أنه عندما يقاس وزن الحبوب بالليبرة لا بد من تحويل الوزن إلى حجم. والعلاقة بين الوزن والحجم هو الوزن النوعي (γ) حيث:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

وحيث (γ) = الوزن النوعي (الوزن / الحجم)، W = الوزن (lb) و V = الحجم (bu)

ويساوي الوزن النوعي للقمح 60 ليبرة للبُشَل. لذا يساوي حجم القمح المجمع:

$$\text{Vol(bu)} = \frac{1.03 \text{ lb}}{60 \frac{\text{lb}}{\text{bu}}} = 0.0171667 \text{ bu}$$

بُشَل: bushel(bu)، حجم: Vol.

وتساوي المساحة:

$$\begin{aligned} A(\text{ac}) &= \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \times \left(25 \text{ rev} \times \frac{\pi \times 26 \text{ in}}{\text{rev}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right) \\ &\quad \times \left(9 \text{ unit} \times \frac{6 \text{ in}}{\text{unit}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right) \\ &= \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \times 170 \text{ ft} \times 4.5 \text{ ft} = 0.017561983 \text{ ac} \end{aligned}$$

ويساوي معدل البذر مقدراً بالبُشَل للإيكر:

$$R \left(\frac{\text{bu}}{\text{ac}} \right) = \frac{0.0171667 \text{ bu}}{0.01756983 \text{ ac}} = 0.97705 \dots \text{ or } 0.98 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}$$

إن تجزئة المسألة إلى أجزاء في هذا المثال تتطلب مقدرة حسابية أقل مما يلزم حين محاولة إيجاد الجواب باستعمال معادلة واحدة. إن المعادلة الأساسية بسيطة:

$$R \left(\frac{\text{bu}}{\text{ac}} \right) = \frac{\text{Vol (bu)}}{n_r(\text{rev})} \times \frac{n_r(\text{rev})}{A(\text{ac})}$$

لكن عندما تُستعمل قيم في المعادلة للوصول إلى bu/rev و rev/ac يُصبح الحساب أكثر تعقيداً. يتحدّد المتغيّر الأول بـ:

$$\frac{\text{Vol (bu)}}{n_r(\text{rev})} = \frac{1 \text{ (bu)}}{\gamma \text{ (lb)}} \times \frac{W \text{ (lb)}}{n_r(\text{rev})}$$

ويتحدّد المتغيّر الثاني بـ:

$$\frac{n_r(\text{rev})}{A(\text{ac})} = \frac{1}{\left(\pi \times r \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right) \times \left(n_u \times \frac{w}{\text{unit}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right) \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2}}$$

n_u هو عدد وحدات القياس. بوضع الجزأين معاً ينتُج:

$$R \left(\frac{\text{bu}}{\text{ac}} \right) = \frac{W \text{ (lb)}}{\gamma \left(\frac{\text{lb}}{\text{bu}} \right) \times n_r(\text{rev})} \times \frac{1}{\left(\pi \times r \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right) \times \left(n_u \times \frac{w}{\text{unit}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right) \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2}}$$

ويُصبح حل المسألة:

$$R \left(\frac{\text{bu}}{\text{ac}} \right) = \frac{1.03 (\text{lb})}{60 \left(\frac{\text{lb}}{\text{bu}} \right) \times 25 (\text{rev})} \times \frac{1 \text{ rev}}{\left(\pi \times 26 \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right) \times \left(9 \times \frac{6.0}{\text{unit}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right) \times \frac{1 \text{ ac}}{43560 \text{ ft}^2}}$$

$$\frac{\text{bu}}{\text{ac}} = \frac{0.000687 \text{ bu}}{\text{rev}} \times \frac{1 \text{ rev}}{0.000703 \text{ ac}} = 0.97724 \dots \text{ or } 0.98 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}$$

إن معدّل البذّر المطلوب هو 1 بُشِل في الإيكر، ولذا يساوي الخطأ 0.02 بُشِل للإيكر. فهل هذا مقبول في زراعة القمح؟ إن هذا مثال على الحالة التي لا يُتوقَّع فيها الكمال، ولذا يجب تحديد مستوى للقبول. ينشر بعض مصنّعي الزراعات معدلات البذّر المقبولة لآلاتهم، أو يمكن العثور على هذه المعلومات في نشرات المنتج اللاحقة. وقد وُضع معيار لغرّازات الحبوب ينص على أن معدل البذّر يجب أن يكون ضمن $\pm 5\%$ من المعدل المطلوب. وحين استعمال هذه الطريقة، توضع حدود مقبولة على كل جانب من المعدل المطلوب، زيادة أو نقصاناً. وإذا كان المعدل الفعلي ضمن هذه الحدود، اعتُبر مقبولاً. في هذا المثال، يساوي الحد الأعلى L_u :

$$L_u = 1.0 + (1.0 \times 0.05) = 1.05 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}$$

ويساوي الحد الأدنى L_l :

$$L_l = 1.0 - (1.0 \times 0.05) = 0.95 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}$$

باستعمال هذا المقيس، تُعتبر دقة العرّازة مقبولة ($1.05 > 0.98 > 0.95$).
لا تكتمل معايرة العرّازة إلا بعد التيقن من تجانس توزيع الحبوب. ويتحقق ذلك باستعمال القاعدة عينها ووضع حدود حول المقدار الوسطي للحبوب المجمعة بواسطة مجموعات القياس. وهذا يعطي:

$$Mean = \frac{W_t}{n_u} = \frac{1.03 \text{ lb}}{9 \text{ units}} = 0.1144 \dots \text{lb}$$

Mean: الوسطي .

ويكون الحد الأعلى DL_u لمعدل التوزيع:

$$\begin{aligned} DL_u &= 0.114 \dots + (0.114 \dots \times 0.05) \\ &= 0.1197 \text{ or } 0.12 \frac{\text{bu}}{\text{ac}} \end{aligned}$$

ويكون الحد الأدنى DL_l :

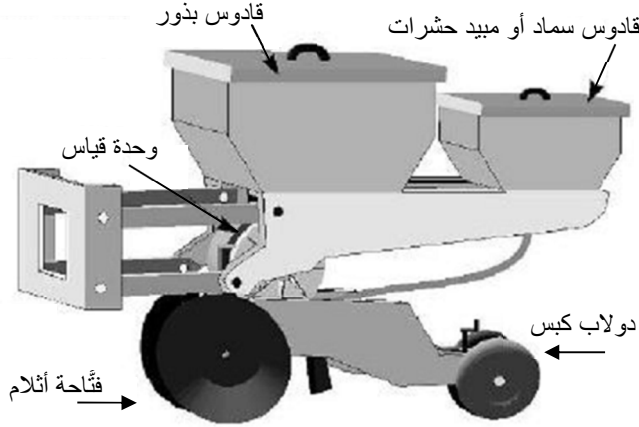
$$\begin{aligned} DL_l &= 0.114 \dots - (0.114 \dots \times 0.05) \\ &= 0.1083 \text{ or } 0.108 \frac{\text{bu}}{\text{ac}} \end{aligned}$$

بمقارنة هذين الحدين بنتائج المعايرة الواردة في الجدول 2.8 يتبين أنه برغم أن معدل البذر مقبول، فإن التوزع غير مقبول. فنتيجتي قياس الوجدتين رقم 8 ورقم 9 تقعان فوق الحد الأعلى. لذا يجب إصلاح الوجدتين قبل استعمال الزّراعة.

6.8 معايرة زراعة النباتات الصّفيّة

تُستعمل زراعات النباتات الصّفيّة في زراعة نباتات في صفوف تكون

التباعدات بينها أوسع من تلك التي تكوّنها غرّازات الحبوب. وتُستعمل زراعات النباتات الصفيّة عموماً لغرز حبوب كبيرة، مثل الذرة وفول الصويا وعباد الشمس، وتُستعمل أيضاً لزراعة الخضراوات ذات البذور الصغيرة، ومنها الفجل. تتألّف زراعة النباتات الصفيّة من قادوس بذور ووحدة قياس وأنبوب بذور وفتّاحات أثلام ونوع من دواليب الإغلاق أو الكبس. وتُستعمل قواديس إضافية أحياناً للأسمدة أو مبيدات الحشرات. انظر الشكل 5.8. أما وحدات القياس الشائعة في زراعات النباتات الصفيّة فهي الصحون والأقراص والأسطوانات والأوعية الكبيرة [القياس الحجمي]، وثمة وسائل أخرى متوافرة. والصحون هي الشائعة في قياس كميات البذور، إلا أنه استُعيض عنها بالأقراص لمعظم أنواع النباتات. وقد كان أحد طرازات الزراعة ذات الصحون القديمة قد صُمّم لزراعة تلال البذور، إلا أن معظم وحدات القياس ذات الصحون أو الأقراص الحديثة تزرع الحبوب إفرادياً، بمعنى أنه يجري التقاط البذرة من كمية صغيرة من البذور ووضعها في التلم. وحين استعمال الصحون، توضع البذور في ثقب (خلايا) على حواف صحن قياس يتحرك على الأرض، وعندما يدور صحن القياس، تترك البذور الصحن وتسقط في التلم الذي يكون قد فُتح في التربة. ويُغيّر معدل البذر باستعمال صحن ذي عدد مختلف من الخلايا، أو بتغيير نسبة سرعة آلية نقل الحركة بين دولاب التحريك ووحدة القياس.



الشكل 5.8 وحدة زراعة نباتات صفية.

ويعتمد القياس بالقرص على الهواء للإمساك بالبذور ضمن الخلايا. وثمة تصميمان مختلفان مستعملان في هذا النوع من القياس يقومان على ضغط الهواء الذي يمكن أن يكون أكبر أو أصغر من الضغط الجوي. ويُستعمل في أحدهما الهواء المضغوط للإمساك بالبذور على صحن عمودي، وعندما يُزال الضغط تسقط البذور في التلم المفتوح أو تُنفخ في أنابيب تُنقلها إلى التلم المفتوح. وتُستعمل في النوع الثاني من الزراعات الهوائية التفريغ الهوائية للإمساك بالبذور في خلايا الصحن.

ويعمل النوع ذو الأسطوانة من وحدات القياس بمبدأ الوحدات نفسها المستعملة في الزراعات ذات قرص الهواء المضغوط. والفرق الرئيسي هو أنه توجد في الأسطوانة حلقة على الثقوب لكل صف بدلاً من وحدة القياس المستقلة لكل صف. وتعزل كل أسطوانة عادة بذوراً لسته أو ثمانية صفوف. ويمكن ضبط معدل البذر بتغيير الأسطوانات وتغيير نسبة السرعة بين الأسطوانة ودولاب التحريك.

يُنتج بعض المصنّعين وحدة قياس من النوع الحجمي تبدو كوحدة القياس في غرّاة الحبوب وتعمل مثلها. ويتحدّد معدّل البذر (بذرة للإيكر) لوحدة القياس الحجمي بالسرعة التي تعمل بها وحدة القياس بالنسبة إلى سرعة الزراعة على الأرض.

1.6.8 المعايرة في حالة الثبات

تُمكن معايرة كل من زراعات النباتات الصفّية، المفردة الصف والمتعددة الصفوف، في وضعية الثبات باتّباع الإجراء المستعمل في معايرة ناشر السماد وغرّازات الحبوب. في هذه الطريقة، يُحسب معدّل البذر بتقسيم كمية البذور المزروعة في أثناء دورة واحدة من دورات دولاب التحريك على المساحة التي تُفترض تغطيتها في أثناء تلك الدورة:

$$R = \frac{\frac{sd}{n_r}}{\frac{A}{n_r}}$$

وتمكّن إعادة كتابة هذه المعادلة أيضاً بالشكل التالي:

$$R = \frac{sd}{n_r} \times \frac{n_r}{A}$$

حيث R هو معدّل البذر (بذرة في الإيكر)، و sd هو عدد البذور، و n_r هو عدد دورات دولاب التحريك، و A هي المساحة (إيكر).

مسألة: ما مقدار معدّل زرع الذرة حينما يساوي وزن الحبوب [المجمّعة من صف واحد] 0.22 ليبيرة بعد دوران دولاب التحريك الذي يساوي قطره 18.0

إنشاً 25 دورة؟ يساوي تباعد الصفوف التي تكوّنها الزّراعة 36 إنشاً، ويوجد في اللبيرة الواحدة 1500 بذرة.

الحل: حين معايرة زراعة نباتات صفّية، تتحدّد المساحة المستعملة بالتباعد بين الصفوف والمسافة التي يُفترض قطعها في أثناء المعايرة، أي المسافة المحاكية للمسافة المقطوعة:

$$A = w \times d$$

حيث A المساحة مقدّرة بالقدم المربع، و w هو التباعد بين الصفوف مقدّراً بالقدم، و d هي المسافة المقطوعة مقدّرة بالقدم.

$$\begin{aligned} R \left(\frac{\text{lb}}{\text{ac}} \right) &= \frac{W(\text{lb})}{n_r(\text{rev})} \times \frac{n_r(\text{rev})}{A(\text{ac})} \\ &= \frac{0.22 \text{ lb}}{25 \text{ rev}} \times \frac{1 \text{ rev}}{18.0 \text{ in} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \times \pi \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \times 36 \text{ in} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}}} \\ &= \frac{0.22}{25} \times \frac{1}{3.245 \dots \text{E} - 4} = \frac{0.22}{8.1136 \dots \text{E} - 3} = 27.114 \dots \frac{\text{lb}}{\text{ac}} \end{aligned}$$

ويساوي معدل الزرع:

$$R \left(\frac{\text{sd}}{\text{ac}} \right) = 27.114 \dots \frac{\text{lb}}{\text{ac}} \times \frac{1500 \text{ sd}}{1 \text{ lb}} = 40,672.36 \text{ or } 40,700 \frac{\text{sd}}{\text{ac}}$$

2.6.8 المعايرة في أثناء الحركة

من السهل معايرة جميع زراعات النباتات الصفّية في أثناء الحركة لأن ثمة لكل تباعد صفوف ومعدل زرع هنالك تباعد محدد للبذور ضمن الصف. في عملية المعايرة هذه توضع البذور في القادوس، ويُخفّض ارتفاع الزّراعة وتُحرّك

مسافة قصيرة حتى تستقر المنظومة. ثم يُرفع الغطاء بعناية عن البذور في الصف وتُقاس المسافات بينها. وتُستعمل المسافة الوسطى لتحديد معدل البذر.

مسألة: تبين من معايرة زراعة نباتات صفية ذات تباعد صفوف يساوي 20 إنشاً أن تباعدات حبوب الصويا في الصف تساوي 2.24 و 2.23 و 2.25 إنش. ما مقدار معدل الزرع مقدراً بالبذرة في الإيكر؟

الحل: حدّد أولاً المسافة الوسطية d_m بين البذور في الصف:

$$d_m = \frac{2.24 + 2.27 + 2.25}{3} = 2.24 \text{ in}$$

$$R \left(\frac{\text{sd}}{\text{ac}} \right) = \frac{1 \text{ sd}}{2.24 \text{ in}} \times \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \times \frac{43,560 \text{ ft}^2}{1 \text{ ac}} \times \frac{1 \text{ row}}{20 \text{ in}} \times \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}}$$

$$= \frac{6,272,640}{44.8} = 140,014.28 \dots \text{ or } 140,000 \text{ or } 1.40 \text{ E5 } \frac{\text{sd}}{\text{ac}}$$

ومن المفيد أحياناً معرفة تباعد البذور ضمن الصف بغية معرفة معدل الزرع. ويمكن تحديد ذلك أيضاً باستعمال حذف الوحدات.

مسألة: ما مقدار التباعد بين البذور d_s ضمن الصف، مقدراً بالإنش للبذرة، عندما يكون معدل البذر 40,000 بذرة للإيكر ويكون التباعد بين الصفوف التي تكونها الزراعة 28.0 إنشاً؟

الحل: نستعمل حذف الوحدات:

$$d_s \left(\frac{\text{in}}{\text{seed}} \right) = \frac{1 \text{ ac}}{40,000 \text{ seed}} \times \frac{43,560 \text{ ft}^2}{1 \text{ ac}} \times \frac{144 \text{ in}^2}{1 \text{ ft}^2} \times \frac{1 \text{ row}}{28 \text{ in}}$$
$$= \frac{6,272,640}{1,120,000} = 5.60057 \dots \text{ or } 5.60 \frac{\text{row.in}}{\text{seed}}$$

هل هذا الجواب صحيح؟ لا تتفق وحدات الجواب مع الوحدات المرغوب فيها، ومع ذلك فإن الجواب صحيح لأن من الشائع إهمال وحدة الصف (row) والاقتصار على الوحدة in/sd.

حين إجراء بعض الحسابات قد يكون من الملائم والمفضل إكمال المسألة على غرار هذا المثال باستعمال طريقة حذف الوحدات. وقد لا يكون هذا صحيحاً إذا كان من الضروري حساب المسافة بين البذور ضمن الصف عدة مرات. في هذه الحالة، من السهل استعمال معادلة. في الفصل 1، وجدنا أن مصدر كثير من المعادلات هو حسابات حذف الوحدات حيث جرى اختزال الأعداد المتجانسة إلى ثوابت. ويعطي ضم الوحدات المتجانسة في المسألة السابقة (43,560 ft² × 144 in²) الثابت 6.273 E6. وحينئذ يمكن إيجاد التباعد بين الحبوب بواسطة المعادلات التالية:

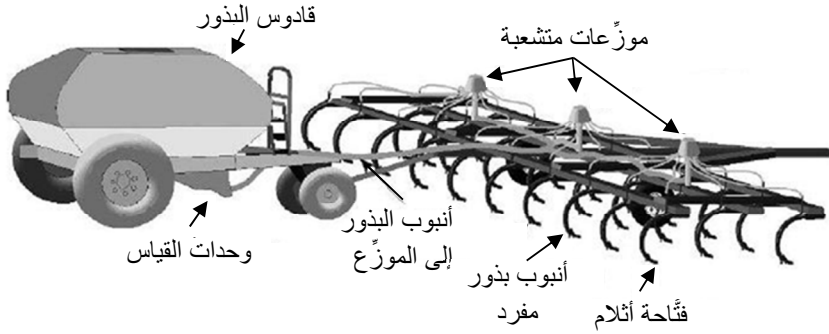
$$SS = \frac{6.273 \text{ E6}}{\text{POP} \times \text{RS}}$$

حيث (SS) هو التباعد بين البذور في الصف مقدراً بالإنش، و (POP) هو معدل الزرع مقدراً بالبذرة للإيكر، و (RS) هو تباعد الصفوف مقدراً بالإنش.

وإذا كان معدل البذر الناتج غير صحيح، وجب إجراء مزيد من فحص للآلة. ونظراً إلى أن وحدة القياس تتحرك بتدحرج الدولاب على الأرض، يمكن مصدر الخطأ أن يكون في نسبة السرعة بين دولاب التحريك ووحدة القياس.

7.8 البذارات الهوائية

غدت البذارات الهوائية (الشكل 6.8) الآلات المفضلة لزراعة القمح وغيره من المحاصيل في الحقول الواسعة. ويقع عرض البذارة الفعال ما بين 70 و 100 قدم. وتتألف البذارة من عربة بذور يجرها محراث حقلي أو أي آلة حراثة ثانوية أخرى ذات أدوات تشق التربة مثبتة على محاور. ويوجد في عربة البذور قادوس واحد أو أكثر. وحين استعمال قواديس عدة، يكون واحد منها للبذور، وتُستعمل القواديس الأخرى للأسمدة وغيرها من المواد. ويوجد مع كل قادوس وحدة قياس واحدة تتحرك بالجبر على الأرض وتتفرع إلى تيارات هوائية عدة، أو تيارات هوائية عدة مع وحدة قياس لكل منها. وتتوزع البذور عند وحدة القياس في أنابيب عدة، ويدفع تيار هوائي البذور إلى موزع متشعب. ويقسم الموزع المتشعب البذور إلى تيار لكل ساق. ومع تطوّر تقانة البذارات الهوائية، جرى تطوير مزيد من أدوات شق التربة ووحدات القياس المتقدمة، إلا أن التصميم الأساسي بقي نفسه.



الشكل 6.8 بَذارة هوائية.

يقول معظم المصنّعين أنه يمكن معايرة البذارات الهوائية باتّباع طريقتي الثبات والحركة، إلا أن معدل البذر لبعض البذارات الهوائية التي تُعاير في حالة الثبات يمكن أن يكون أقل من المعدل الفعلي في الحقل. لذا يُوصى بالمعايرة في حالة الحركة.

1.7.8 المعايرة في أثناء الحركة

تشابه طرائق معايرة البذارات الهوائية الطرائق المستعملة لمعايرة غرّازات الحبوب. وأحد الفروقات هو عدد الصفوف التي يجب تجميع البذور منها. والبذارات الهوائية كبيرة أيضاً إلى حد أن من غير العملي تجميع بذور من جميع الصفوف. وتختلف التوصيات بخصوص عدد الصفوف التي يجب تجميع البذور منها، إلا أن التوصية العامة هي 25%. يُفصل العدد الملائم من خراطيم البذور عن أنابيب البذور الفردية وتوصل مع أكياس أو وسائل تجميع أخرى. وتُحرّك البذارة مسافة ما بين 100 و 200 قدم، وتوزن المادة التي تتجمّع في الأكياس. بتوافر هذه المعلومات، ومن معرفة العرض الفعال لكل ساق، يمكن حسب معدل البذر.

مسألة: حدّد معدل البذر (لبيرة للإيكر) الذي تحقّقه بذّارة هوائية عرضها الفعال يساوي 50 قدماً، ويساوي تباعد الصفوف فيها 10.0 إنشات. جُمعت كميات البذور التالية من كل رابع ساق على صف واحد في أثناء الانتقال مسافة 200 قدم. انظر الجدول 3.8.

الجدول 3.8 كميات البذور التي جُمعت خلال معايرة بذّارة هوائية.

رقم المجمع	الوزن (لبيرة)	رقم المجمع	الوزن (لبيرة)
1	0.34	9	0.33
2	0.33	10	0.34
3	0.33	11	0.34
4	0.36	12	0.35
5	0.34	13	0.35
6	0.35	14	0.33
7	0.35	15	0.34
8	0.33	16	0.34

الحل: الخطوة الأولى هي تحديد كمية البذور الكلية التي جُمعت:

$$W_t = 0.34 + 0.33 + 0.33 + 0.36 + 0.34 + 0.35 + 0.35 + 0.33$$

$$+ 0.33 + 0.34 + 0.34 + 0.35 + 0.35 + 0.33 + 0.34 + 0.34 = 5.12 \text{ lb}$$

والخطوة التالية تحديد المساحة. **[ملاحظة:** عرض البذّارة يساوي 50 قدماً، أي 600 إنش. وعدد الفواصل بين السيقان يساوي عرض البذّارة مقسوماً على

التباعد بين ساقين، أي إن ثمة 60 فاصلاً، ولذا يكون عدد السيقان 61 ساقاً. ونظراً لأخذ كل رابع ساق، يكون عدد السيقان المستعملة في المعاييرة 15 ساقاً. لكن ما استعمل فعلاً هو 16 ساقاً وفقاً للجدول 3.8]. لأغراض المعاييرة، تساوي المساحة الفعلية عدد الصفوف مضروباً بالتباعد بينها:

$$A(ac) = \frac{10 \text{ in}}{\text{row}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \times 16 \text{ row} \times 200 \text{ ft} \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2}$$

$$= \frac{32,000}{522,720} = 0.06121 \dots \text{ or } 0.061 \text{ ac}$$

تبذر البذارة الهوائية 5.12 ليبرة من البذور في 0.61 إيكرو. لذا يساوي معدل البذر:

$$R \left(\frac{\text{lb}}{\text{ac}} \right) = \frac{W_t(\text{lb})}{A(\text{ac})} = \frac{5.12 \text{ lb}}{0.061 \text{ ac}} = 83.934 \dots \text{ or } 83.9 \frac{\text{lb}}{\text{ac}}$$

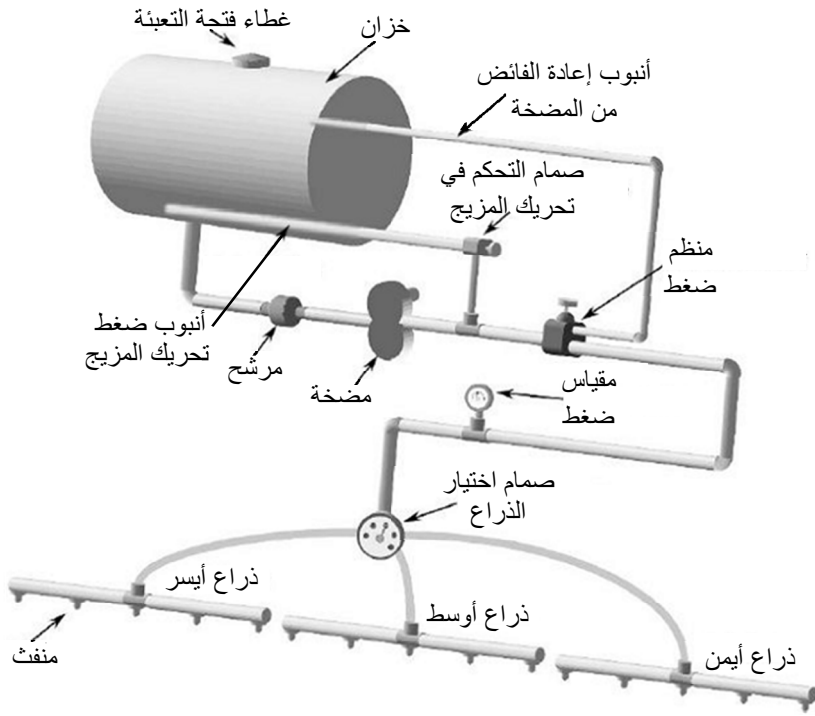
تبذر البذارة الهوائية البذور بمعدل 83.9 ليبرة في الإيكرو. ويعود إلى مشغلها تحديد كون مستوى الأداء هذا مقبولاً.

8.8 معاييرة الرشاشات

تُعتبر معاييرة تجهيزات الرش على درجة عالية من الأهمية لأن تغيّرات ضئيلة في معدل الرش يمكن أن تجعل الكيماويات مؤذية للمحاصيل أو البيئة، وأن تؤدي إلى هدر المواد، أو جعل الرش غير فعال. وثمة فرق هام بين تصميم ناشر السماد وغرّازة الحبوب وزراعة النباتات الصفية وبين تصميم الرشاش. فالطريقة المتبعة لضبط معدل تدفق المادة من الرشاش لا تقوم على التحريك المعتمد على الحركة على الأرض. فمعدل الرش (غالون للإيكرو) تابع لمعدل

التدفق من المنافث (غالون في الدقيقة) ولسرعة الرشّاش (ميل في الساعة). ولا يتغيّر معدل التدفق من المنافث مع تغيّر سرعة الرشّاش بالنسبة إلى الأرض، والاستثناء من هذا يحصل عندما يُضاف متحكّم في معدل الرش إلى الرشّاش. فالمتحكّم يغيّر معدل الرش للتعويض عن التغيّرات في سرعة الرشّاش. ويتحقّق ذلك عموماً بتغيير الضغط في الرشّاش. وعندما لا يُستعمل متحكّم في المعدل، يجب أخذ سرعة الرشّاش في الحسبان حين حساب معدل الرش.

يُري الشكل 7.8 الأجزاء العامة في رشّاش الأذرع المتراكبة العادي. يتكوّن هذا الرشّاش من خزان ومرشح ومضخة ووسائل للتحكّم في الضغط ومقاطع متعددة من المنافث وصمام اختيار الذراع. ويتدفق المزيج الموجود في الخزان عبر المرشح لإزالة أي جسيمات يمكن أن تسد فوهات المنافث، ثم يذهب إلى المضخة. وتُستعمل أنواع عدة من المضخات في الرشّاش تبعاً للتدفق (gal/min) والضغط اللازمين لعمله. ويذهب المزيج من المضخة إلى صمام تنظيم الضغط. وفي بعض تصاميم الرشّاش، يُعاد جزء من المزيج المتدفق من المضخة إلى الخزان لتحريك المادة فيه ودرء تخزينها. وتُعاد أي مادة زائدة تسبّبها المضخة إلى الخزان أيضاً بواسطة صمام تنظيم الضغط. وفي نقطة ما من هذه السلسلة يوضع مقياس للضغط. ويوجّه صمام اختيار الذراع المزيج المتدفق إلى مقطع الأذرع المختلفة. ويجري تزويد بعض أنواع الصمامات بحاقن يدوي، وهذا الحاقن مفيد جداً في إيقاف الرش في أماكن معينة مثل السياجات والعوائق الأخرى.



الشكل 7.8 أجزاء رشاش شائع ذي أذرع.

توجد في أحد التصاميم الشائعة لصمام اختيار الأذرع سبع وضعيات:

1. جميع المخارج مغلقة.
2. جميع الأذرع مفتوحة.
3. الذراع الأيسر مفتوحة.
4. الذراع الأوسط مفتوحة.
5. الذراع الأيمن مفتوحة.

6. الحاقن اليدوي مفتوح.

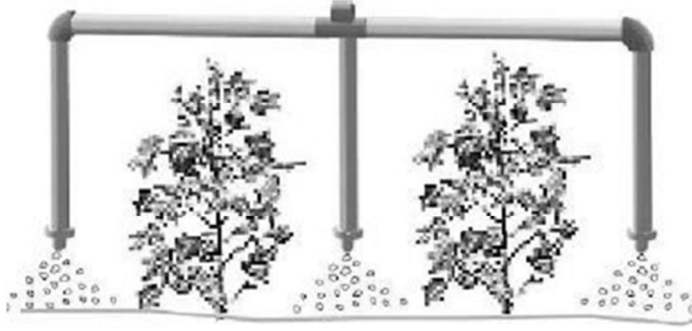
7. الأذرع والحاقن اليدوي مفتوحة جميعاً.

يمكن تدوير المضخة في التصميم الشائع بواسطة محرك احتراق داخلي أو محور التدوير الخلفي في جرّار أو محرك هيدروليكي. وعندما تعمل المضخة ويكون صمام الاختيار في أي وضعية فتح، يتدفق المزيج السائل من الرشّاش. إنه لمن الضروري أن تفهم تأثير سرعة الرشّاش بالنسبة إلى الأرضي معدل الرش (غالون للإيكر). فعندما يتباطأ رشّاش يعمل في الحقل، يزداد معدل الرش. ويحصل هذا لأن معدل التدفق من المنافث (غالون في الدقيقة) ثابت. فعندما تنخفض سرعة الحركة، يُرش المقدار نفسه من المادة على مساحة أصغر:

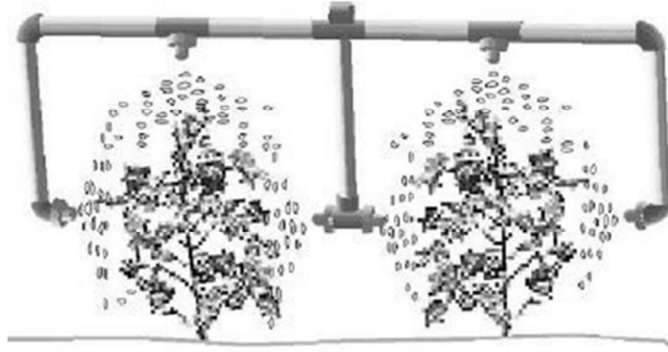
$$\frac{\text{gal}}{\text{ac}} = \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{\text{min}}{\text{ac}}$$

عندما تنخفض سرعة الحركة، يقل عدد الإيكرات المرشوشة في الدقيقة (ac/min). والعكس صحيح، عندما يتحرك الرشّاش بسرعة أكبر، يقل معدل الرش. لذا فإن التحكّم الدقيق بسرعة الرشّاش مهم جداً.

يُعدّل التصميم المبين في الشكل 7.8 غالباً لتحقيق متطلبات أنواع النباتات أو طرائق الرش المختلفة. ويُري الشكلان 8.8 و 9.8 مثالان لذلك.



الشكل 8.8 ترتيب المنافث للرش بين الصفوف.



الشكل 9.8 ترتيب المنافث لرش النبات.

- يجري التحكم في معدل رش الرشاش (غالون للإيكر) بواسطة عوامل ثلاثة:
1. سرعة الرشاش (ميل في الساعة).
 2. معدل التدفق من المنافث (غالون في الدقيقة).
 3. العرض الذي يغطيه المنافث الواحد (إنش).

بوضع هذه المتغيرات معاً في معادلة واحدة تنتج معادلة الرشاش:

$$R = \frac{5940 \times Q}{V \times w}$$

حيث R هو معدل الرش (غالون للإيكر)، والعدد 5940 هو ثابت تحويل الوحدات، و Q هو معدل التدفق من المنفت (غالون في الدقيقة)، و V هي سرعة الرشاش (ميل في الساعة)، و w هو التباعد بين المنافث (إنش).

ملاحظة: استعمل إما معدل التدفق (غالون في الدقيقة) من منفت واحد والمسافة بين منفتين متجاورين، أو التدفق من جميع المنافث (غالون في الدقيقة \times عدد المنافث) والعرض الكلي للرشاش ($w \times$ عدد المنافث). وفي الحالتين سوف يكون معدل الرش (غالون للإيكر) نفسه. لا تُبادل في ما بين هذه القيم.

تحصل معايرة الرشاش بعدة خطوات. يُضاف إلى ذلك أنه يمكن البدء بهذه العملية من نقاط مختلفة تبعاً للعامل الذي يُختار أولاً من العوامل المذكورة آنفاً (السرعة، أو معدل التدفق من المنفت، أو معدل الرش).

مسألة: ما مقدار معدل التدفق (غالون في الدقيقة) من المنافث اللازم لكي يرش رشاش الأذرع 20.0 غالوناً من المادة للإيكر؟ يوجد في الرشاش 24 منفتاً يكون التباعد بين كل اثنين متجاورين منها يساوي 18.0 إنشاً.

الحل: نظراً إلى أن معدل رش الرشاش الحقلي يعتمد على سرعته، ابدأ باختيار سرعة معقولة يمكن الحفاظ عليها في الحقل، ثم حدّد معدل التدفق اللازم من المنافث. سوف نستعمل في هذه المسألة السرعة النموذجية التي تساوي 6.5 أميال في الساعة (انظر الملحق 4). وحينئذ يمكن تحديد معدل التدفق المطلوب من المنافث بإعادة ترتيب معادلة الرشاش:

$$R \left(\frac{\text{gal}}{\text{ac}} \right) = \frac{5940 \times Q \left(\frac{\text{gal}}{\text{min}} \right)}{V \left(\frac{\text{mi}}{\text{hr}} \right) \times w(\text{in})}$$

$$Q \left(\frac{\text{gal}}{\text{min}} \right) = \frac{R \times V \times w}{5940} = \frac{20.0 \text{ gal}}{1 \text{ ac}} \times \frac{6.5 \text{ mi}}{\text{hr}} \times 18.0 \text{ in}$$

$$= \frac{2340}{5940} = 0.3939 \dots \text{ or } 0.39 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

من أجل معدل الرش وتباعد المنافث المفترضين في هذه المسألة، يجب تركيب منافث على الرشاش يستطيع كل منها رش 0.39 غالون في الدقيقة. وقبل استعمال الرشاش، تجب معايرته لضمان أن معدل الرش صحيح لأن اختلافات ضئيلة في تركيب المنافث أو في الضغط ضمنها يمكن أن يُسبب خطأ غير مقبول في معدل الرش.

افترض أن عامل الرشاش ركب منافث تستطيع رش 0.39 غالون في الدقيقة، ثم تابع عملية المعايرة.

مسألة: وُضع وعاء تحت جميع الـ 24 منفثاً في رشاش وُجِع فيه 14.40 غالوناً من مزيج الرش خلال دقيقتين من العمل. وكان معدل الرش المطلوب 20.0 غالوناً للإيكر. هل الرشاش دقيق؟

الحل: المعلوم في هذه المسألة هو الحجم الكلي فقط. أحد الحلول هو تحديد معدل التدفق الوسطي من كل منفث ثم استعمال معادلة الرشاش، إلا أن هذه العملية لن تكون دقيقة كدقة حذف الوحدات ومعدل التدفق الكلي:

$$\begin{aligned}
 R \left(\frac{\text{gal}}{\text{ac}} \right) &= \frac{14.40 \text{ gal}}{2.0 \text{ min}} \times \frac{60.0 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{6.5 \text{ mi}} \times \frac{1 \text{ mi}}{5280 \text{ ft}} \\
 &\times \frac{43,560 \text{ ft}^2}{1 \text{ ac}} \times \frac{12.0 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \times \frac{1 \text{ nozzle}}{18.0 \text{ in}} \times \frac{1}{24 \text{ nozzle}} \\
 &= \frac{451,630,080}{29,652,480} = 15.2307 \dots \text{ or } 15 \frac{\text{gal}}{\text{ac}}
 \end{aligned}$$

لكن المعدل المطلوب هو 20 غالوناً للإيكر، في حين أن المعاييرة تشير إلى معدل فعلي أقل بـ 5 غالونات للإيكر من ذلك المعدل. إن لمن الضروري التدقيق في المعلومات المدونة على المادة الكيميائية لرؤية إن كان معدل الرش هذا مقبولاً. فإذا لم يكن الخطأ مقبولاً، فكيف نقلّصه؟ الخطوة الأولى هي فحص مرشحات وفوهات منافث الرشاش للتيفن من أن أحدها ليس مسدوداً. وإذا كانت جميع المنافث في حالة جيدة، وجب ضبط الرشاش لتحقيق المعدل الصحيح.

يمكن ضبط الرشاش بتغيير سرعة حركته والضغط فيه. ولضبط السرعة يمكن إعادة ترتيب معادلة الرشاش لحساب سرعة حركة جديدة. أما ضبط الضغط، فإنه ليس فعالاً كضبط السرعة لأنه لا يحقق سوى تغيير صغير في معدل الرش. إذ تجب مضاعفة الضغط لزيادة معدل التدفق بمقدار 41%، والرشاشات ذات الأذرع الحديثة تعمل ضمن مجال ضغط ضيق. لذا سوف نضبط السرعة في هذه المسألة.

يمكن استعمال حذف الوحدات، لكننا هذه المرة سوف نرتب معادلة الرشاش لحساب سرعة الحركة. ونظراً إلى أن تلك المعادلة تتطلب معدل التدفق من منفث واحد، سوف نحدّد القيمة الوسطى لذلك المعدل، فهذه القيمة الوسطى تعطي مستوى مقبولاً من الدقة:

$$\frac{Q}{\text{nozzle}} = \frac{\text{gal}}{\text{No. nozzle}} = \frac{14.4 \text{ gal}}{24 \text{ nozzle}} = 0.60 \frac{\text{gal}}{\text{nozzle}}$$

ونظراً إلى أن المادة قد جُمِعت خلال دقيقتين:

$$Q \left(\frac{\frac{\text{gal}}{\text{min}}}{\text{nozzle}} \right) = \frac{0.60 \frac{\text{gal}}{\text{nozzle}}}{2.0 \text{ min}} = 0.30 \frac{\text{gal}}{\text{min nozzle}}$$

ومن أجل التسهيل، لا تُستعمل وحدة المنفث nozzle عادة، وتصبح الوحدة غالون في الدقيقة، وتساوي كمية المادة المجمعة 0.30 غالون في الدقيقة. حينئذ:

$$R \left(\frac{\text{gal}}{\text{ac}} \right) = \frac{5940 \times Q \frac{\text{gal}}{\text{min}}}{V \left(\frac{\text{mi}}{\text{hr}} \right) \times w(\text{in})}$$

$$V \left(\frac{\text{mi}}{\text{hr}} \right) = \frac{5940 \times Q \frac{\text{gal}}{\text{min}}}{R \left(\frac{\text{gal}}{\text{ac}} \right) \times w(\text{in})}$$

$$= \frac{5940 \times 0.30 \frac{\text{gal}}{\text{min}}}{20.0 \frac{\text{gal}}{\text{ac}} \times 18 \text{ in}} = \frac{1782}{360} = 4.95 \text{ or } 5.0 \text{ mph}$$

إذا غُيِّرَت سرعة الرشّاش من 6.5 إلى 5.0 أميال في الساعة، رش الرشّاش المعدل الصحيح.

صحيح أن الطريقة المفضلة لمعايرة الرشّاش هي تحديد مقاس المنفث أولاً (بدلالة معدل التدفق)، إلا أن هذه الطريقة تتطلب شراء مجموعة جديدة من المنافث إذا كان المقاس المطلوب غير موجود لدى عامل الرشّاش. وفي بعض

الحالات يُختار مقياس المنافث أولاً (يُختار أفضل المتوافر)، ثم تُحدّد السرعة. وحين استعمال هذه الطريقة، قد تكون القيمة المحسوبة للسرعة غير عملية.

مسألة: نحتاج إلى رش 15.0 غالوناً من مادة كيميائية للإيكر، ولا تتوافر لدينا سوى مجموعة واحدة من المنافث تستطيع إخراج 0.25 غالون في الدقيقة. ويوجد في الرشّاش 35 منفثاً متوضّعة بتباعدات يساوي الواحد منها 24.0 إنشاً. ما مقدار السرعة اللازمة لرش المعدل الصحيح؟

الحل: نرتّب معادلة الرشّاش لحساب السرعة، ونستعمل طريقة حذف الوحدات:

$$\begin{aligned}
 V \left(\frac{\text{mi}}{\text{hr}} \right) &= \frac{1 \text{ mi}}{5,280 \text{ ft}} \times \frac{43,560 \text{ ft}^2}{1 \text{ ac}} \times \frac{1 \text{ ac}}{15.0 \text{ gal}} \times \frac{0.25 \frac{\text{gal}}{1 \text{ min}}}{\text{nozzle}} \\
 &\quad \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \\
 &\quad \times \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \times \frac{1}{24.0 \text{ in}} \\
 &= \frac{7,840,800}{1,900,800} = 4.125 \text{ or } 4.1 \frac{\text{mi}}{\text{hr}}
 \end{aligned}$$

إذا شُغّل رشّاش هذه المسألة بسرعة 4.1 أميال في الساعة، كان معدل الرش صحيحاً.

تُمكن معايرة أنواع أخرى من الرشّاشات باستعمال هذه الطرائق بعد إجراء التعديلات الملائمة لكيفية حساب المساحة ومعدل الرش. على سبيل المثال، لمعايرة رشّاش النباتات الصقيّة المبين في الشكل 9.8، يُصبح العرض المسافة

بين الصفوف، ويجب أن يُخرج كل منفث ثلث معدل التدفق (غالون في الدقيقة) للصف الواحد.

وتمكّن أيضاً معايرة رشّاشات في ما بين الصفوف. في هذه الحالة، يُصبح التباعد بين منفثين $1w$ هو المسافة بين الصفيين. انظر الشكل 8.8.

9.8 تحضير مزيج الرش

من الخطوات المهمة في عملية الرش الكيميائية التحضير الصحيح للمزيج المكوّن من المادة الكيميائية وحاضنها (وهو الماء عادة). وتُعطى معدّلات رش معظم المواد الكيميائية بدلالة وزن المكوّن الفعّال (بالليبرة لكل إيكّر). ويكتب تركيز المادة الكيميائية السائلة عادة على علبتها، ويمكن العلبة أن تحتوي على مادة فعّالة تركيزها يساوي 4 ليبرة للغالون. من ناحية أخرى، تُعرّف المساحيق القابلة للحل في الماء بنسبة مئوية، مثل 50% أو 80%، أي إن 50 أو 80% من وزن المادة في الوعاء هو مادة فعّالة. أما المادة المتبقية فهي مادة خاملة (المادة الحاضنة).

مسألة: أنت بحاجة إلى رش 2.0 ليبرة من مادة فعّالة، من محلول معد للنشر بمعدل 30.0 غالوناً للإيكّر، ونسبة المسحوق القابل للانحلال فيه تساوي 80%. ويتضمن الرشّاش خزاناً سعته 100.0 غالون. ما وزن المسحوق القابل للحل WP في الماء واللازم لتحضير 100.0 غالون من مادة الرش؟

الحل: للحصول على 2.0 ليبرة من المكوّن الفعّال، أنت بحاجة إلى 2.5 ليبرة من المحلول (80% من 2.5 تساوي 2.0). ومن أجل معدل رش للمحلول يساوي 30 غالوناً للإيكّر، امزج 2.5 ليبرة من المسحوق القابل للانحلال بنسبة

80% في كل 30 غالون من الماء. وتساوي سعة الخزان 100 غالون، أي 3.33 أضعاف الـ 30 غالوناً. ونظراً إلى أنه يجب إضافة 2.5 ليبرة من المسحوق إلى كل 30 غالوناً من الماء، عليك إضافة 2.5×3.33 أو 8.33 ليبرة من المسحوق إلى 100 غالون من الماء. وباستعمال النسبة:

$$\frac{2.5 \text{ lb WP}}{30.0 \text{ gal H}_2\text{O}} = \frac{W \text{ lb WP}}{100.0 \text{ gal H}_2\text{O}}$$

$$W (\text{lb WP}) = \frac{2.5 \times 100.0}{30.0} = 8.33 \dots \text{or } 8.33 \text{ lb } 80\% \text{ WP}$$

لتحضير مزيج الرش، أضف 8.33 ليبرة من المسحوق القابل للانحلال في الماء WP إلى خزان ممثلي جزئياً، وحرك المزيج جيداً، ثم أضف ماء ليصبح الحجم الكلي 100 غالون. يجب في أثناء الرش تحريك هذا المزيج باستمرار لمنع المسحوق من الترسّب.

ويمكن تحضير مزيج يقوم على مادة كيميائية سائلة بالطريقة عينها.

مسألة: يحتوي كل 5.0 غالون من مزيج سائل مركّز 2.0 ليبرة من مادة فعالة. ومعدل الرش المطلوب هو 1.0 ليبرة من المادة الفعالة لكل إيكرو ومعدل 20.0 غالوناً من مزيج المادة الكيميائية والماء للإيكرو. فإذا كانت سعة خزان الرشاش 180.0 غالوناً، فما مقدار الماء، وما مقدار المزيج المركّز اللازمين لملء الخزان؟

الحل: نظراً إلى أن السائل المركّز يحتوي 2.0 ليبرة من المادة الفعالة في كل 5.0 غالون منه، فإن كمية منه مقدارها 2.5 غالون تحتوي على 1.0 ليبرة من المادة الفعالة. لذا، ومن أجل كل إيكرو، يُمزج 2.5 غالون من السائل المركّز مع 17.5 غالوناً من الماء للحصول 20 غالوناً من محلول الرش. وباستعمال النسبة:

$$\frac{2.5 \text{ gal concentrate}}{20.0 \text{ gal solution}} = \frac{V \text{ gal concentrate}}{180.9 \text{ gal solution}}$$

$$V \text{ gal concentrate} = \frac{2.5 \times 180.0}{20.0} = 22.5 \text{ gal concentrate}$$

سائل مركّز: concentrate. محلول: solution. و V هو حجم السائل المركّز، مقدراً بالغالون، الذي يجب أن يُستعمل.

حينئذ يساوي حجم الماء اللازم لتكوين مزيج يملأ الخزان:

$$180 \text{ gal} - 22.5 \text{ gal} = 157.5 \text{ gal}$$

إذاً، يتكوّن محتوى الخزان الكامل من 157.5 غالوناً من الماء، و 22.5 غالوناً من السائل المركّز.

10.8 مسائل بالوحدات المترية

مسألة: حدّد معدل الرش (كيلوغرام للهكتار) لناشر سماد ينشر 52.5 كيلوغراماً من المادة خلال 15 دورة لدولاب التحريك الذي يساوي قطره 0.53 متر. ويساوي العرض الفعال لناشر السماد 0.76 متر.

الحل:

$$\begin{aligned} R \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) &= \frac{W(\text{kg})}{n_r(\text{rev})} \times \frac{n_r(\text{rev})}{A(\text{ha})} \\ &= \frac{52.5 \text{ kg}}{15 \text{ rev}} \times \frac{1 \text{ rev}}{3.14 \times 0.53 \text{ m}} \times \frac{10,000 \text{ m}^2}{\text{ha}} \times \frac{1}{0.76 \text{ m}} \\ &= \frac{525,000}{18.98 \dots} = 27,672.53 \dots \text{ or } 27,000 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ or } 27 \frac{\text{ton}}{\text{ha}} \end{aligned}$$

مسألة: حدّد إِمكان كون معدل بَذْر غُرَّاة حبوب مقبُولاً إذا كان المعدل المطلوب 9.0 كيلوغرامات للهكتار. يوجد في الغُرَّاة 25 وحدة قياس، ويساوي التباعد بين كل وحدتين متجاورتين منها 0.20 متر. ويساوي قطر دولا ب التحريك الفعال 80 سنتيمتراً. وفي أثناء المعايرة في حالة الثبات، جرى تدوير دولا ب التحريك 50 دورة، وُجمعت مقادير البذور المُدرجة في الجدول 4.8 من 12 وحدة قياس.

الجدول 4.8 بيانات لمعايرة غُرَّاة حبوب بالوحدات المترية.

رقم الوحدة	الوزن (غرام)	رقم الوحدة	الوزن (غرام)
1	22.6	7	22.0
2	22.4	8	22.8
3	22.0	9	22.8
4	22.9	10	22.7
5	22.7	11	22.6
6	22.6	12	22.8

الحل: يتحدّد معدل البَذْر بحساب كمية البذور المغروزة في مساحة معينة ثم بتحويل النتيجة إلى الوحدات المرغوب فيها.

تساوي الكمية الكلية المجمّعة:

$$\begin{aligned}
 W_t &= 22.6 + 22.4 + 22.0 + 22.9 + 22.7 + 22.6 + 22.0 \\
 &\quad + 22.8 \\
 &\quad + 22.8 + 22.7 + 22.6 + 22.8 \\
 &= 270.9 \text{ g or } 0.2709 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

وتساوي المساحة:

$$\begin{aligned} A(\text{ha}) &= \text{No. Units} \times w(\text{m}) \times d(\text{cm}) \times \pi \times n_r \\ &= 12 \text{ units} \times 0.20 \frac{\text{m}}{\text{unit}} \times \frac{80 \text{ cm} \times \pi}{\text{rev}} \times 50 \text{ rev} \\ &\quad \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} \\ &= \frac{30,159.28 \dots}{1.0 \text{ E}6} = 0.03015 \dots \text{ ha} \end{aligned}$$

ويساوي معدل البذر:

$$R \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{0.2709 \text{ kg}}{0.03015 \dots \text{ ha}} = 8.982 \dots \text{ or } 8.9 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

ويتحدد إمكان قبول أداء الغرّاة بإيجاد الحدين الأعلى والأدنى باستعمال قاعدة الـ 10%:

$$\text{upper} = 9.0 \times 1.05 = 9.4$$

$$\text{lower} = 9.0 \times 0.95 = 8.6$$

بناء على قاعدة الـ 10% يُعتبر أداء غرّاة الحبوب مقبولا لأن $9.4 > 8.9 > 8.6$.

لكن برغم أن معدل البذر مقبول، فإنه يجب فحص نمط توزيع الغرّاة للبذور:

$$\text{Mean} = \frac{270.9 \text{ g}}{12} = 22.575 \text{ g}$$

$$\text{Upper limit} = 22.575 \times 1.05 = 23.703 \dots \text{ or } 23.7 \text{ g}$$

$$\text{Lower limit} = 22.575 \times 0.95 = 21.44 \dots \text{ or } 21.4 \text{ g}$$

وسطي: Mean. حد أعلى: Upper limit. حد أدنى: Lower limit.

يُعتبر نمط التوزيع مقبولاً لأن أوزان جميع الكميات المجمعة من وحدات القياس تقع بين الحدين الأعلى والأدنى.

مسألة: حدّد عدد النباتات الذي تزرعها زراعة نباتات صفية في الهكتار عندما يكون التباعد الوسطي بين النباتات 11.5 سنتيمتراً ضمن الصف، ويكون تباعد الصفوف 70 سنتيمتراً.

الحل:

$$R \left(\frac{\text{sd}}{\text{ha}} \right) = \frac{10,000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} \times \frac{100 \text{ cm}}{\text{m}} \times \frac{1 \text{ sd}}{11.5 \text{ cm}} \times \frac{100 \text{ cm}}{\text{m}} \times \frac{1}{70 \text{ cm}}$$

$$= \frac{1.0\text{E}8}{805} = 124223.6025 \text{ or } 1.24 \text{ E}5 \frac{\text{sd}}{\text{ha}}$$

مسألة: حدّد معدل البذر الذي تحقّقه بذّارة هوائية عرضها يساوي 10.8 أمتار، والتباعد بين صفوفها يساوي 18 سنتيمتراً، إذا كانت كمية البذور المجمعة خلال 50 متراً من الحركة تساوي 13 كيلوغراماً.

الحل: نظراً إلى تجميع الحبوب من جميع الصفوف، لا نحتاج إلى أخذ التباعد بين الصفوف في الحسبان:

$$R \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{W(\text{kg})}{A(\text{ha})} = \frac{W(\text{kg})}{l(\text{m}) \times w(\text{m})} \times \frac{10,000 \text{ m}^2}{\text{ha}}$$

$$= \frac{13 \text{ kg}}{50 \text{ m}} \times \frac{1}{10.8 \text{ m}} \times \frac{10,000 \text{ m}^2}{\text{ha}}$$

$$= \frac{1.3 \text{ E}5}{540} = 240.74 \dots \text{ or } 241 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

مسألة: حدّد مقاسات المنافث بدلالة معدل التدفق الذي تحقّقه (ليتر في الدقيقة) من أجل رش المادة بمعدل 185 ليترًا للهكتار عندما يكون التباعد بين المنافث 0.4545 متر ويتحرك الرشّاش بسرعة 4.0 كيلومترات في الساعة.

الحل:

$$\begin{aligned}
 Q \left(\frac{\text{L}}{\text{min}} \right) &= 185 \frac{\text{L}}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} \times 4 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \\
 &\quad \times \frac{1,000 \text{ m}}{\text{km}} \times 0.45 \\
 &= \frac{3.33 \text{ E}5}{6.0 \text{ E}5} = 0.555 \text{ or } 0.56 \frac{\text{L}}{\text{min}}
 \end{aligned}$$

9.

كفاءة التجهيزات ومقدرتها

1.9 الأهداف

1. استيعاب مفهوم الكفاءة والتمكُّن من تطبيقه على العمليات الزراعية.
2. استيعاب مفهوم المقدرة والتمكُّن من تطبيقه على الآلات الزراعية.
3. التمكن من حساب المقدرة الحقلية الفعلية.
4. التمكن من حساب المقدرة على الإنتاج للآلات الزراعية.

2.9 تقديم

تعني الكفاءة المقدرة على تحقيق النتائج المرغوب فيها بأقل الجهود والموارد والهدر. وهذا مفهوم يشتمل على كل أوجه حياتنا. ففي كل عمل ثمة رغبة في تحسين المنتج أو الخدمات بتحقيق الكثير في مقابل بذل موارد أقل، أو ما هو أفضل ناتج في مقابل المُدخلات عيناها. ويحاول المهندسون باستمرار تقليص الاستطاعة اللازمة للعمليات الزراعية والصناعية ومفاقيدها. وحين الحديث عن الآلات، تُعتبر الكفاءة تقييماً لجودة تنفيذ الآلة للمهام المصممة من أجلها. أما المقدرة فهي تعبير عن مقدار الأداء الذي يتحقق. ويُعتبر تقييم مقدرة الآلة

على درجة من الأهمية لأن استعمال الآلة بأقل من مقدرتها الكاملة يزيد من تكاليف الإنتاج، والاستعمال فوق مقدرتها يمكن أن يؤدي إلى زيادة تكاليف إصلاحها وصيانتها وتقصير عمرها.

3.9 الفعالية

سوف نستعمل في هذا الفصل مفهوم الكفاءة لتقييم جودة تنفيذ الآلة للمهام المصممة من أجلها بدلالة مقدار وجودة الأداء. فمُلاك ومديرو مشاريع المزارع يهتمون كثيراً بالتشغيل الكفء لتجهيزاتهم وغيرها من الموارد المتوافرة لهم، لأن التشغيل غير الكفوء يؤدي إلى تكاليف تشغيل أكبر، ومن ثَمَّ إلى انخفاض في الأرباح. ويُعبّر عن الكفاءة عددياً عادة بنسبة مئوية تُحسب بقسمة مقدار على آخر وضرب الناتج بمئة. ونظراً إلى أن الكفاءة هي نسبة مقدارين لهما الوحدات نفسها، تلغي تلك الوحدات بعضها.

يُعبّر عن الكفاءة حسابياً بصيغ عدة. وفي أكثر تلك الصيغ عمومية، تُعطى الكفاءة بالعلاقة التالية:

$$\%E = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100$$

حيث E هو الكفاءة، و Output هو خرج الآلة، و Input هو دخلها. أي إن الكفاءة هي نسبة ما نحصل عليه من شيء ما إلى ما نضعه فيه. فمثلاً، إذا كان الخرج يساوي 9 وحدات (ليبرة أو ساعة... إلخ)، وكان الدخل يساوي 10 وحدات، كانت الكفاءة:

$$\%E = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100 = \frac{9}{10} \times 100 = 90\%$$

وإذا كان الخرج يساوي 5 وحدات، وكان الدخل يساوي 10 وحدات، كانت الكفاءة:

$$\%E = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100 = \frac{5}{10} \times 100 = 50\%$$

ويمكن تحديد الكفاءة أيضاً بنسب الأداء الفعلي إلى الأداء النظري. وحينئذ تصبح المعادلة:

$$\%E = \frac{\text{actual}}{\text{theoretical}} \times 100$$

حيث actual تعبر عن الأداء الفعلي، و theoretical تعبر عن الأداء النظري.

إنه لمن الضروري أن نتذكر أن حساب الكفاءة يوفر جواباً حسابياً للمسألة. وهو ليس سوى أداة أو معلومة يمكن استعمالها لاتخاذ قرار. على سبيل المثال، إذا تبين لك أن كفاءة وقود السيارة يساوي 20 ميلاً للغالون، فإن تلك المعلومة غير كافية لتحديد إن كان أداء السيارة مقبولاً. لذا تجب مقارنة هذا العدد مع أداء السيارة في السابق، أو مع مواصفاتها الموضوعة من قبل المصنّع، أو مع أي بيانات أخرى، وذلك لتحديد كون أدائها مقبولاً أم لا.

1.3.9 الكفاءة الميكانيكية

تتعلق الكفاءة الميكانيكية بجودة تحويل الآلات للاستطاعة من صيغة إلى أخرى. فمثلاً، يحوّل محرك الاحتراق الداخلي الاستطاعة الكيميائية في الوقود إلى استطاعة ميكانيكية. لكن محركات الاحتراق الداخلي ليست كفوءة 100% لأنها لا تحوّل كل الاستطاعة الموجودة في الوقود إلى استطاعة ميكانيكية

(يخرج معظم الحرارة الناتجة من الاحتراق عبر مشع التبريد والعاظم). وكفاءة محرك البنزين الشائع تساوي نحو 22% فقط. أما كفاءة محرك الديزل فتساوي نحو 30-33%. ويحوّل المحرك الكهربائي الاستطاعة الكهربائية إلى استطاعة ميكانيكية بكفاءة تساوي نحو 95-98%. ويمكن تحديد كفاءة مجموعة آلية نقل الحركة الميكانيكية والتجهيزات الميكانيكية الأخرى إذا أمكن تحديد قيم دقيقة لاستطاعتَي دخلها وخرجها.

2.3.9 كفاءة الأداء

المقصود بكفاءة الأداء هو جودة العمل الذي تنفذه الآلة. لكن ليست جميع الآلات متماثلة الأهمية من حيث تقييم الأداء. فعلى سبيل المثال، ليست جودة آلة الحراثة الرئيسية مهمة لربح المشاريع الزراعية كأهمية الحصاد. يُضاف إلى ذلك أن من الصعب جداً تقييم جودة الحراثة عددياً.

وفي ما يخص آلات القطاف، تمثل الكفاءة مؤشراً إلى أداء الآلة الفعلي مقارنة بأدائها المرغوب فيه. فمثلاً، إذا كانت الآلة حصاداً، أمكننا تحديد عدد مكاييل الحبوب المجنية ومقارنتها بعدد مكاييل الحبوب الكلية في الحقل. ويمكن تقييم الحصادات أيضاً تبعاً لمقدار الحبوب المكسرة. ويمكن تقييم آلات القطاف الأخرى على أساس مقدار جرح أو خمش الفاكهة، أو عدد القشور المتكسرة. ومن أمثلتها حصادة الحبوب الصغيرة.

ويمكن الحصاد أيضاً أن تضيّع حبوباً بثلاث طرائق: فيمكن وحدة التجميع أن تُبعثر الحبوب من الرأس أو من رؤوس الإسقاط، ويمكن وحدة الدّرس (القشّر) أن تُخفق في إزالة الحبوب من الرأس حين مرورها عبر الآلة، ويمكن

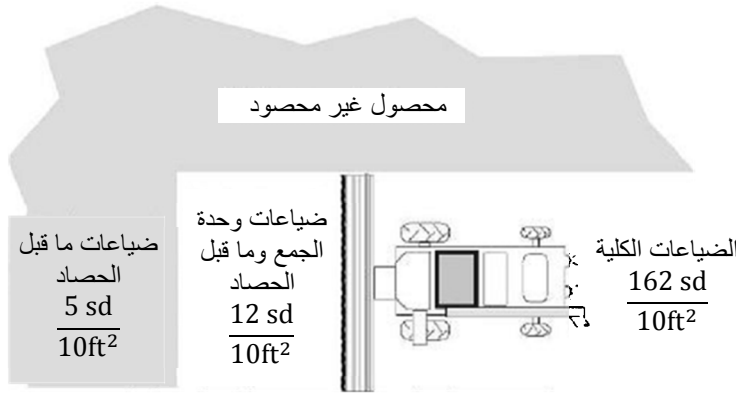
وحدتي الفصل والتنظيف أن تُخفقا في فصل الحبوب من القش. ويُعبّر عن هذه المفاقيد عادة بنسبة من إنتاج الحقل.

ويمثّل تقييم مفاقيد الحصاد مسألة متعددة الخطوات. فما نريد معرفته هو مقدار الحبوب الذي تُخفق الحصاد في وضعه في وعاء الحبوب. والخطوة الأولى في تقييم أداء الحصاد هي تحديد إن كانت المشكلة موجودة فعلاً. ويتحقّق ذلك بتحديد الفقد الكلي الذي تسببه الآلة.

ولتحديد الفقد الكلي، تُحدّد منطقة معروفة بواسطة علامات، وتُعدّ الحبوب الموجودة على الأرض خلف الحصاد. تتضمن المفاقيد هنا الحبوب الموجودة على الأرض قبل بدء الحصاد بالعمل (ضياعات ما قبل الحصاد) والحبوب التي تفقدها الحصاد (ضياعات الآلة). وفي ما يخص معظم الحبوب الحنطية، تُحدّد المفاقيد بعدد الحبوب في منطقة معينة، مساحتها 10 أو 100 قدم مربع مثلاً. وهذا يوفر بيانات تكون وحدتها حبة في وحدة المساحة. ويمكن استعمال الجدول في الملحق 3 لتحويل وحدة الحبة في القدم المربع إلى بُشِل للإيكر، أو الحبة في المتر المربع إلى كيلوغرام في الهكتار.

مسألة: ما مقدار كفاءة الأداء (نسبة مئوية) من حيث الحبوب التي تفقدها الحصاد المبيّنة في الشكل 1.9.

الحل: يمثّل الشكل 1.9 نتائج قياس ضياعات الحصاد. والخطوة الأولى هي تحديد الضياعات الكلية. وفي المثال المبين في الشكل، جرى عد 162 حبة قمح في مساحة تساوي 10 أقدام مربعة خلف الحصاد.



الشكل 1.9 تحديد مردود الأداء لحصادة.

بالعودة إلى الملحق 3، يمكننا تحويل الضياعات الكلية من وحدة الحبة في القدم المربع إلى بُشَل في الإيكر. تعادل الـ 19 حبة في القدم المربع بُشَل واحدًا في الإيكر. وباستعمال طريقة حذف الوحدات نجد:

$$\frac{162 \text{ seeds}}{10 \text{ ft}^2} \times \frac{1 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}}{19 \frac{\text{seeds}}{\text{ft}^2}} = \frac{162 \text{ bu}}{190 \text{ ac}} = 0.8526 \text{ or } 0.85 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}$$

حيث seeds هي عدد الحبات المجموعة (sd)

ملاحظة: يمكن فهم المعادلة السابقة على نحو أسهل بتذكُّر أنه حين تقسيم الكسور، تُعتبر القسمة على كسر كالضرب بمقلوبه. لذا تُمكن كتابة المعادلة السابقة بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} \frac{162 \text{ seeds}}{10 \text{ ft}^2} \times 1 \frac{\text{bu}}{\text{ac}} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{19 \text{ seeds}} &= \frac{162 \text{ bu}}{190 \text{ ac}} \\ &= 0.8526 \text{ or } 0.85 \frac{\text{bu}}{\text{ac}} \end{aligned}$$

هل إضاعة الآلة لـ 0.85 بُشِل قمع من كل إيكِر مقبولة؟ وفقاً لما أشرنا إليه سابقاً، لا تجيب الحسابات العددية عن هذا السؤال. فهي لا توفر سوى معلومة تساعد على اتخاذ قرار قائم على المعرفة. والطريقتان الشائعتان لاتخاذ قرارات قائمة على المعرفة هما مقارنة النتائج بالأداء السابق للآلة، ومقارنة النتائج بمعيار مُعتمد. وقد بيّنت البحوث أنه في الظروف الجيدة يمكن عامل حصّادة خبيراً أن يُبقي الضياعات أقل من 1%، إلا أن ضياعات تصل حتى 3% تُعتبر مقبولة. لذا، ولتحديد إن كان أداء الحصّادة مقبولاً، تجب مقارنة الضياعات الكلية بالمعيار. ولتحديد الضياعات على شكل نسبة مئوية، يجب استعمال قيمتين لهما الوحدات نفسها. ويُجرى ذلك في حالة الحصّادات عادة بمقارنة الضياعات بإنتاجية المحصول مقدّرة بالبُشِل للإيكِر.

سوف نفترض في هذا المثال أن إنتاجية القمع تساوي 30 بُشِل للإيكِر. لذا تساوي النسبة المئوية للضياعات الكلية $L_t\%$:

$$L_t\% = \frac{Y_L}{Y_t} \times 100 = \frac{0.85 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}}{30 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}} \times 100 = 2.833 \dots \text{ or } 2.8\%$$

حيث Y_L هي ضياعات المحصول، و Y_t هي الإنتاجية الكلية، وكلاهما مقدّرتان بالبُشِل للإيكِر أو الكيلوغرام للهكتار. وبناء على قاعدة الـ 3%، يُعتبر أداء هذه الآلة مقبولاً. أما إذا كان المعيار 1% هو مستوى الأداء المقبول، فيجب إجراء حسابات إضافية لتحديد سبب الضياعات الزائدة في الحبوب.

من الضروري أن نتذكّر الآن أن الضياعات الكلية تساوي مجموع ضياعات الآلة وضياعات ما قبل الحصاد. ووجود ضياعات غير مقبولة لا يعني

بالضرورة وجود مشكلة في الحصاد. فقد يكون منشأ الضياعات غير المقبولة هو ضياعات ما قبل الحصاد، وليس للحصاد من دور في حصول تلك الضياعات. تُقاس ضياعات ما قبل الحصاد بعد الحبوب الموجودة على الأرض ضمن المحصول الذي لم يُجَنَّ بعد. وفي الشكل 1.9، نلاحظ أن ضياعات ما قبل الحصاد تساوي 5 حبات في كل 10 أقدام مربعة. لذا تكون ضياعات الآلة L_m مقدرة بالبُشِل للقدم المربع:

$$\begin{aligned} L_m &= L_t - L_p \\ &= \frac{162 \text{ sd}}{10 \text{ ft}^2} - \frac{5 \text{ sd}}{10 \text{ ft}^2} = 157 \frac{\text{sd}}{10 \text{ ft}^2} \end{aligned}$$

حيث L_t هي الضياعات الكلية، و L_p هي ضياعات ما قبل الحصاد.

ويُعطي تحويل هذه النتيجة إلى بُشِل للإيكر:

$$L_m = 157 \frac{\text{sd}}{10 \text{ ft}^2} \times \frac{1 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}}{19 \frac{\text{sd}}{\text{ft}^2}} = \frac{157}{190} = 0.826 \dots \frac{\text{bu}}{\text{ac}}$$

وبتحويل هذه النتيجة إلى نسبة مئوية ينتُج:

$$L_m \% = \frac{0.83 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}}{30 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}} \times 100 = 2.754 \dots \text{ or } 2.8\%$$

وبتدوير النتيجة إلى عدد ذي رقمين دَوَيّ دلالة، نجد أن كلاً من ضياعات الآلة والضياعات الكلية أقل من 2.8%. أما ضياعات ما قبل الحصاد فهي نسبة مئوية صغيرة مهملة.

يمكن الاستنتاج الآن أنه إذا استُعمل معيار الـ 1%، كانت الضياعات كثيرة

وكانت الآلة هي مصدر الإفراط في الضياعات. وحينئذ، من الضروري تحديد مكّون الآلة الذي يسبّب تلك الضياعات.

والخطوة الأولى في تلك العملية هي فحص وحدة جمع المحصول (الرأس). ويحصل ذلك بعدّ الحبوب الموجودة على الأرض بين الرأس والنبات غير المقطوع. يُري الشكل 1.9 أن الضياعات في هذه المنطقة تساوي 12 حبة في الـ 10 أقدام مربعة. (تذكّر أن هذا العدد يتضمن أيضاً ضياعات ما قبل الحصاد). لذا تُحدّد ضياعات وحدة التجميع L_g بطرح ضياعات ما قبل الحصاد من عدد الحبات المعدودة في المنطقة بين الرأس والنبات غير المقطوع:

$$L_g = \frac{12 \text{ sd}}{10\text{ft}^2} - \frac{5 \text{ sd}}{10\text{ft}^2} = \frac{7 \text{ sd}}{10\text{ft}^2} = 0.7 \frac{\text{sd}}{\text{ft}^2}$$

وبتحويل النتيجة إلى بُشَل للإيكر ينتُج:

$$L_g = 0.7 \frac{\text{sd}}{\text{ft}^2} \times \frac{1 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}}{19 \frac{\text{sd}}{\text{ft}^2}} = \frac{0.7}{19} = 0.0368 \text{ or } 0.04 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}$$

وتكون نسبة ضياع وحدة التجميع المئوية:

$$L_g \% = \frac{0.04 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}}{30 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}} \times 100 = 0.13\%$$

وهذا يبيّن أن ضياعات وحدة التجميع تساوي 0.13%، وهي جزء صغير جداً من ضياعات الآلة الكلية. وعندما تكون ضياعات ما قبل الحصاد وضياعات وحدة التجميع صغيرة، يجب فحص وحدتي الدّرس والفصل.

تُمثّل ضياعات الدّرس بالسنابل والعرانيس التي توجد على الأرض خلف الآلة

والحبوب ما زالت عليها. وتُمثَّل ضياعات التنظيف والفصل بالحبوب الموجودة على الأرض خلف الآلة غير المتضمنة في ضياعات ما قبل الحصاد أو ضياعات وحدة التجميع. وتتحدّد ضياعات التنظيف والفصل بالعلاقة:

$$L_{c\&s} = L_t - L_p - L_g - L_{th}$$

حيث $L_{c\&s}$ هي ضياعات التنظيف والفصل، و L_t هي الضياعات الكلية، و L_p هي ضياعات ما قبل الحصاد، و L_g هي ضياعات التجميع، و L_{th} هي ضياعات الدّرس:

$$\begin{aligned} L_{c\&s} &= L_t - L_p - L_g \\ &\quad - L_{th} \\ &= 162 \frac{\text{sd}}{10\text{ft}^2} - 5 \frac{\text{sd}}{10\text{ft}^2} - 7 \frac{\text{sd}}{10\text{ft}^2} - 0 \frac{\text{sd}}{10\text{ft}^2} = 150 \frac{\text{sd}}{10\text{ft}^2} \end{aligned}$$

لاحظ أننا اعتبرنا أن ضياعات الدّرس تساوي الصفر، وذلك بسبب عدم توافر بيانات عن هذه الضياعات. حينئذ تكون ضياعات التنظيف والفصل مقدّرة بالبُشَلِّ للأيكر:

$$\begin{aligned} L_{c\&s} &= 150 \frac{\text{sd}}{10\text{ft}^2} \times 1 \frac{\text{bu}}{\text{ac}} \times \frac{1\text{ft}^2}{19 \text{sd}} = \frac{150}{190} \\ &= 0.789 \dots \text{ or } 0.79 \frac{\text{bu}}{\text{ac}} \end{aligned}$$

وتكون نسبتها المئوية:

$$L_{c\&s} \% = \frac{0.79 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}}{30 \frac{\text{bu}}{\text{ac}}} \times 100 = 2.633 \dots \text{ or } 2.6\%$$

من الواضح أنه إذا كان المطلوب هو تحسين أداء الحصاد، وجب ضبط وحدتي التنظيف والفصل أو إصلاحهما.

3.3.9 الكفاءة الحقلية

تُستعمل كفاءة الحقل عادة لتقييم أداء آلات الحراثة والحصاد أو القطاف. وتُحسب هذه الكفاءة بنسبة مقدار "العمل" الفعلي (مقدار النشاط، لا القوة \times المسافة) الذي تؤديه الآلة إلى المقدار الذي يمكن أن تؤديه في حالة عدم وجود هدر في الوقت أو نقص في المقدرة. ويتحدد المعدل الأعظمي الذي يمكن آلة أن تحقّقه بعرض الآلة وسرعة تحركها. وعندما تعمل الآلة بعرض ثابت وتتحرك بسرعة ثابتة، تحقّق 100% من الكفاءة الحقلية. ويمكن الآلة أن تعمل بكفاءة حقلية تساوي 100% مُدداً قصيرة فقط، لأنه عندما تتغيّر سرعتها (تنباطاً عند الدوران والانعطاف... إلخ)، أو يتغيّر عرضها الفعال (نتيجة لتراكب العرض المنجز على الأرض لدرء عدم التغطية)، تنخفض الكفاءة الحقلية إلى أقل من 100%. والسبب الرئيسي لنقصان الكفاءة الحقلية هو الوقت الضائع (الوقت المهدوم الإنتاج) وكون العرض الفعال للآلة أصغر من عرضها الفعلي. ويتضمن الملحق 4 قيم الكفاءة الحقلية للآلات الشائعة. وثمة مناقشة أكثر تفصيلاً لهذا المفهوم في المقطع التالي عن المقدرة.

4.9 المقدرة

تُستعمل المقدرة لتقييم إنتاجية الآلة. يُستعمل في الزراعة نوعان من المقدرة عادة، المقدرة الحقلية والمقدرة على الإنتاج. وتُستعمل المقدرة الحقلية لتقييم

إنتاجية الآلات التي تتعامل مع التربة، ومنها المحاريث وغرّازات الحبوب والرشاشات وآلات الحصاد والقطاف. وتُستعمل المقدرة على الإنتاج لوصف الآلات التي تعالج المنتج أو تتعامل معه، ومنها برّيمات [حلزونات] نقل الحبوب والرزّامات وحصّادات العلف وحصّادات الحبوب.

ومن المفاهيم الأخرى ذات الصلة بكلا نوعي المقدرة الفرق بين الإنتاجية الفعلية والإنتاجية النظرية. إذا كانت آلة حراثة تعمل بكفاءة تساوي 100%، فإنها تعمل بمقدرة تساوي 100%. وتسمى هذه بالمقدرة الحقلية النظرية. وتتحدّد المقدرة الحقلية النظرية باستعمال عرض الآلة وسرعة تحركها، ويمكن حسابها باستعمال حذف الوحدات، إلا أن من الشائع استعمال المعادلة:

$$C_T = \frac{S \times W}{8.25}$$

حيث C_T هي المقدرة النظرية وتُقَدَّر بالإيكر في الساعة، و S هي سرعة الانتقال وتُقَدَّر بالميل في الساعة، و W هو عرض الآلة مقدراً بالقدم، والعدد 8.25 هو ثابت تحويل الوحدات $\div (43,560 \text{ ft}^2/\text{ac})$ $(5,280 \text{ ft}^2/\text{mi}) = 8.25$.

وتُستعمل هذه المعادلة عندما تُقَدَّر السرعة بالميل في الساعة، ويُقَدَّر عرض الآلة بالقدم.

مسألة: احسب المقدرة النظرية لآلة تسير بسرعة 5.0 أميال في الساعة ويساوي عرضها العامل 20.0 قدماً.

الحل:

$$C_T = \frac{S \times W}{8.25} = \frac{5.0 \frac{\text{mi}}{\text{hr}} \times 20.0 \text{ ft}}{8.25} = 12.12 \dots \text{ or } 12 \frac{\text{ac}}{\text{hr}}$$

عندما تسير هذه الآلة بسرعة ثابتة تساوي 5.0 أميال في الساعة، وتستعمل عرضاً ثابتاً يساوي 20.0 قدماً، تساوي قدرتها النظرية 12 إيكراً في الساعة.

أما المقدرة الحقلية الفعلية للآلة فهي مقدار الإنتاجية التي تتحقق فعلاً، لا ما يمكن تحقيقه نظرياً. وتمثل المقدرة الضائعة مصدر قلق هام لعامل الآلة أو مدير المزرعة لأنها تمثل فقداً للعوائد والموارد. ويحصل ضياع المقدرة عادة نتيجة لضياع الوقت وتشغيل الآلة بعرض أقل من عرضها العامل الأعظمي. ومن أسباب ضياع الوقت الشائعة ما يلي:

1. التعطُّل الميكانيكي.
2. صرف الوقت على ضبط الآلة.
3. التوقُّف لمليّ قواديس الحبوب وخزانات الرشاشات وغيرها.
4. التباطؤ من أجل الدوران عند نهاية صف أو اجتياز ممر مائي... إلخ.
5. توقُّفات عامل الآلة للراحة.

وتمائل معادلة المقدرة الفعلية معادلة المقدرة النظرية، مع إضافة الكفاءة الحقلية. ويتضمن الملحق 4 مجالَ قيم الكفاءة الحقلية لآلات شائعة. أما معادلة المقدرة الحقلية الفعلية فهي:

$$C_E = \frac{S \times W \times E_f}{8.25}$$

حيث C_E هي المقدرة الحقلية الفعلية مقدرة بالإيكراً في الساعة، و S هي سرعة الحركة الوسطية مقدرة بالميل في الساعة، و W هو العرض الفعال للآلة مقدراً بالقدم، و E_f هو الكفاءة الحقلية الزمنية (بالصيغة العشرية، لا المئوية).

مسألة: افترض أن عامل الآلة في المسألة السابقة يهدر وقتاً تساوي مدته

الوسطية 0.75 ساعة في يوم العمل الذي يدوم 10.0 ساعات. ماذا تساوي المقدرة الحقيقية الفعلية للآلة؟

الحل: الخطوة الأولى هي تحديد الكفاءة الحقيقية الزمنية:

$$E_f = \frac{\text{input}}{\text{output}} \times 100 = \frac{10.0 \text{ hr} - 0.75 \text{ hr}}{10.0 \text{ hr}} \times 100 = 92.5\%$$

والخطوة الثانية هي حساب المقدرة الفعلية:

$$C_E = \frac{S \times W \times E_f}{8.25} = \frac{5.0 \text{ mph} \times 20.0 \text{ ft} \times 0.925}{8.25} \\ = \frac{95.5}{8.25} = 11.21 \dots \text{or } 11 \frac{\text{ac}}{\text{hr}}$$

إن أثر نقصان الإنتاجية واضح الآن. فالمقدرة النظرية تساوي 12 إيكراً في الساعة، لكن نظراً إلى ضياع الوقت، أصبحت المقدرة الفعلية 11 إيكراً في الساعة.

ويمكن استعمال مفهوم المقدرة الفعلية أيضاً لتحديد المدة التي تستغرقها الآلة في تغطية حقل.

مسألة: كم ساعة يستغرق عَزَق 200.0 إيكراً من الأرض بواسطة عَزَاقَة حقيقية عرضها 24.0 قدماً؟

الحل: هذا مثال لمسألة تتضمن خطوة وسيطة خفيفة. فقبل تحديد عدد الساعات، يجب حساب المقدرة الفعلية للآلة. **ملاحظة:** تتطلب معادلة المقدرة الفعلية وجود ثلاث قيم، اثنتان منها، أي السرعة والكفاءة الزمنية الحقيقية غير معطأتان في المسألة. وإذا كانت السرعة الفعلية والكفاءة الزمنية الحقيقية غير

معروفتين، أمكن استعمال القيم المدرجة في الملحق 4. من هذا الملحق يتبين أن الكفاءة الحقلية للعرّافة العادية تساوي 85%، وأن سرعتها النموذجية تساوي 5.5 أميال في الساعة. وباستعمال هذه القيم، يمكن حساب المقدرة الفعلية للآلة:

$$C_E = \frac{S \times W \times E_f}{8.25} = \frac{5.5 \text{ mph} \times 24.0 \text{ ft} \times 0.85}{8.25}$$

$$= \frac{112.2}{8.25} = 13.6 \text{ or } 14 \frac{\text{ac}}{\text{hr}}$$

وبعد معرفة المقدرة الفعلية، يمكن حساب المدة التي يستغرقها عرق الحقل. وباستعمال حذف الوحدات:

$$t = \frac{1 \text{ hr}}{14 \text{ ac}} \times 200 \text{ ac} = 14.28.. \text{ or } 14 \text{ hr}$$

حيث t تمثل الزمن.

إذا كانت سرعة العرّافة الوسطية 5.5 أميال في الساعة، وتمكّن العامل من الحفاظ على كفاءة حقلية تساوي 85%، استغرقت تسوية 200 إيكرا من الأرض 14 ساعة.

5.9 كمية الإنتاج

ينطبق مفهوم المقدرة النظرية والمقدرة الفعلية أيضاً على المقدرة على الإنتاج. وتقدر المقدرة على الإنتاج بحساب الزمن، لكن نظراً إلى أنه يُقصد بالمقدرة على الإنتاج عادة تدفق المادة عبر الآلة، فقد تكون وحداتها مختلفة عن تلك المستعملة للمقدرة. على سبيل المثال، يمكن تقييم أداء رزمة أعشاب علفية باستعمال وحدة الرزمة في الساعة أو الطن في الساعة.

مسألة: ما مقدار إنتاج رزمة ترزم 150.0 طناً في الأسبوع حين عملها 6.0 ساعات في اليوم وسطياً؟

الحل: بوجود المعلومات المعطاة، يمكن استعمال وحدات مختلفة للخرج، منها الطن في الأسبوع والطن في اليوم، والرزمة في اليوم. والوحدات "الصحيحة" هي تلك التي تتطابق مع وحدات الدخل. وفي هذا المثال، افترض أن المصنَّع يُعلن أن مقدرة الرزمة تساوي 6 أطنان في الساعة. هذا يعني أن علينا تحديد الخرج (الإنتاج الفعلي) بوحدة الطن في الساعة:

$$\frac{150.0 \text{ ton}}{\text{week}} \times \frac{1 \text{ week}}{5 \text{ days}} \times \frac{1 \text{ day}}{6.0 \text{ hr}} = \frac{150}{30} = 5.0 \frac{\text{ton}}{\text{hr}}$$

وبمعرفة الإنتاج الفعلي للرزمة، يمكن تحديد كفاءة الإنتاج:

$$E\% = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100 = \frac{5.0 \frac{\text{ton}}{\text{hr}}}{6.0 \frac{\text{ton}}{\text{hr}}} \times 100 = 83.3 \dots \text{ or } 83\%$$

بافتراض أن مقدرة إنتاج الرزمة المعلنة من قبل المصنَّع معقولة، فإن كفاءة هذه العملية تساوي 83% في رزم العشب.

ويمكن تقييم إنتاج الرزمة أيضاً بوحدة الرزمة في الساعة. ولاستعمال هذه الوحدة، ثمة حاجة إلى معلومات أخرى، منها وزن رزمة العشب (ليبرة للرزمة) مع قيمتين لتحويل الوحدات.

مسألة: حدّد الإنتاج الفعلي مقدراً بالرزمة في الساعة عندما تزن كل رزمة 1200.0 ليبرة.

الحل: لم تُقدّم معادلة لحل هذه المسألة. وهي مثال لاستعمال حذف الوحدات:

$$\frac{150.0 \text{ ton}}{\text{week}} \times \frac{1 \text{ week}}{30 \text{ hr}} \times \frac{2000 \text{ lb}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ bale}}{1200.0 \text{ lb}} =$$

$$\frac{3.0 \text{ E5}}{3.6\text{E4}} = 8.333 \dots \text{ or } 8.33 \frac{\text{bale}}{\text{hr}}$$

من الواضح أنه يمكن التعبير عن الإنتاج بطرائق كثيرة مختلفة تبعاً للقيم التي تجري مقارنتها. يُضاف إلى ذلك أن هذه الأمثلة توضّح فائدة حذف الوحدات لحل مسائل من هذا النوع.

6.9 مسائل بالوحدات المترية

مسألة: حدّد المقدرة النظرية لعزّاقة عرضها يساوي 20.0 متراً وتسير بسرعة 9.6 كيلومترات في الساعة.

الحل:

$$C_T \left(\frac{\text{ha}}{\text{hr}} \right) = S \left(\frac{\text{km}}{\text{hr}} \right) \times w(\text{m}) \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2}$$

$$= 9.6 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \times 20.0 \text{ m} \times \frac{1,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2}$$

$$= \frac{192,000}{10,000} = 19.2 \frac{\text{ha}}{\text{hr}}$$

مسألة: ما قيمة المقدرة الفعلية لعزّاقة المسائل السابقة إذا أضع العامل 0.75 ساعة كل يوم عمل مدته 10.0 ساعات ؟

الحل: الخطوة الأولى هي حساب الكفاءة الزمنية الحقلية:

$$E_f \% = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100$$

$$= \frac{10.0 \text{ hr} - 0.75 \text{ hr}}{10.0 \text{ hr}} \times 100 = \frac{9.25}{10.0} \times 100 = 92.5\%$$

وتساوي المقدرة الفعلية:

$$C_E \left(\frac{\text{ha}}{\text{hr}} \right) = S \left(\frac{\text{km}}{\text{hr}} \right) \times w(\text{m}) \times \frac{1,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2}$$

$$\times E_f$$

$$= 9.6 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \times 20.0 \text{ m} \times \frac{1,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} \times 0.925$$

$$= \frac{177,600}{10,000} = 17.8 \frac{\text{ha}}{\text{hr}}$$

مسألة: كم ساعة يستغرق عَزَق 20.0 هكتاراً بواسطة عَزَاقَة عرضها 8.0 أمتار وتسير بسرعة 10 كيلومترات في الساعة؟ افترض كفاءة حقلية للعَزَاقَة تساوي 85%.

الحل: الخطوة الأولى هي تحديد المقدرة الحقلية الفعلية:

$$C_E \left(\frac{\text{ha}}{\text{hr}} \right) = S \left(\frac{\text{km}}{\text{hr}} \right) \times w(\text{m}) \times \frac{1,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2}$$

$$\times E_f$$

$$= 10 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \times 8.0 \text{ m} \times \frac{1,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} \times 0.85$$

$$= \frac{68,000}{10,000} = 6.8 \frac{\text{ha}}{\text{hr}}$$

والخطوة الثانية هي حساب المدة التي يستغرقها عزق 20.0 هكتاراً بمقدرة
حقلية تساوي 6.8 هكتارات في الساعة:

$$Time(hr) = \frac{1 \text{ hr}}{6.8 \text{ ha}} \times 20.0 \text{ ha} = 0.94117 \dots \text{ or } 2.9 \text{ hr}$$

10.

اقتصاديات الآلات الزراعية

1.10 الأهداف

1. التمكن من سرد معايير انتقاء الجرّارات والآلات.
2. التمكن من تحديد مقاس الآلة الأمثل.
3. التمكن من حساب تكاليف اقتناء التجهيزات الزراعية وتشغيلها.
4. فهم طرائق تقليص تكاليف اقتناء الجرّارات والآلات وتشغيلها.
5. فهم مبدأ استعمال الآلة عند نقطة تساوي الربح والخسارة.
6. التمكن من حساب نقطة تساوي الربح والخسارة للآلة.
7. فهم أهمية الصيانة المنتظمة للآلات الزراعية.

2.10 تقديم

تُعتبر الآلات من أكبر الاستثمارات في المشاريع الزراعية. ويمكن أن تشمل عملية اختيار الآلة المصنّع والتصميم والمقاس والخيارات. وينطوي القرار غير السليم بخصوص أيّ من هذه العوامل على تأثير سيئ في أرباح المشروع. وبعد دراسة هذا الفصل، سوف تمتلك فهماً أفضل للمعايير التي يجب أن تستعملها حين انتقاء الجرّارات والآلات، وتتمكّن من التوفيق في ما بين مقاسات تلك الجرّارات والآلات.

3.10 معايير الانتقاء

يتصف بعض خصائص أو إمكانات الجرّارات أو الآلات التي تجعلها مغرية أكثر من غيرها بأنها تجريدية، إلا أنها يمكن أن تكون ذات تأثير هائل في جودة الآلة وأدائها. وسوف نناقش في المقاطع التالية بعض المعايير التي يجب استعمالها حين انتقاء جرّار أو آلة، ونستعرض أهميتها.

1.3.10 اسم الشركة

يجب أخذ سمعة الشركة في الحسبان حين انتقاء الآلة. فالمصنّعون يُمضون سنوات طويلة ويصرفون موارد هائلة لبناء سمعتهم. وتقوم سمعة الشركة على جودة وديمومة منتجاتها والخدمات التي تقدمها لزيائنها. لذا من الضروري معرفة إن كان المصنّع سوف يدعم منتجاته ويكفلها.

لا يمكن المبالغة في أهمية اختيار الجرّارات والآلات من شركات ذات سمعة جيدة. وفي بعض الحالات، قد يكون القرار الاقتصادي الأفضل تفضيل جرّار أو آلة على غيرهما، برغم عدم وجود سجل أداء أفضل لهما، بسبب كون سمعة مصنّعهما أفضل من سمعة الآخرين.

ومن العوامل المهمة التي يجب أخذها في الحسبان في الاختيار بين الشركات المصنّعة توفّر قطع التبديل. فالجرّار الرخيص الثمن الذي يتوقف عن العمل طويلاً في كل مرة يحتاج فيها إلى قطعة تبديل لا يمثل استثماراً جيداً.

2.3.10 التكلفة

تُعتبر التكلفة من الاعتبارات المهمة حين شراء أي شيء. ومن المهم أن نتذكر أن أقل الجرّارات أو الآلات تكلفة ليس أقلها ثمناً حين أخذ كل من تكاليف الاقتناء والتشغيل في الحسبان. قد تكون أقل الآلات تكلفة تلك التي هي أرخص من حيث الاقتناء، لكن تكاليف التشغيل قد تغطي على تلك المزية. وسوف نرى هذه التكاليف في مقطع لاحق.

ويمكن أحد الجوانب المهمة من تكلفة الآلة الكلية في مُدد تعطلها. ففي كل وقت تتوقّف فيه الآلة عن العمل بسبب الحاجة إلى الإصلاح، لا تقتصر الخسارة التي يتكبدها المشروع على تكاليف الإصلاح، بل تتضمن أيضاً المَقدرة الضائعة والوقت المهدور. فحينما يكون المحصول جاهزاً للقطاف، والآلة ليست جاهزة بسبب حاجتها إلى إصلاح، ثمة خسارة تتجم عن ترك المحصول في الحقل بعد أن يكون قد أصبح جاهزاً للجني، لأن جزءاً منه سوف يضيع.

3.3.10 الإصلاحات

كل الآلات عُرضة للتعطل، إلا أن جودة بنيتها تؤثر كثيراً في تكاليف إصلاحها. وثمة أيضاً ترابط بين تعقيد الآلة وبين تكاليف إصلاحها. فتكاليف إصلاح الحصّادة مثلاً أكبر من تكاليف إصلاح العَرَاقَة. وتتأثر تكاليف الإصلاح أيضاً بطريقة استعمال الآلة وبسوء استعمالها. فكل آلة لا تُصان أو تُستعمل على النحو الموصى به من قبل المصنّع سوف تتطلب تكاليف إصلاح كبيرة. ووفقاً للمناقشة الواردة في المقطع السابق، تُعتبر مدد توقّف الآلة للإصلاح على درجة من الأهمية بسبب طاقتها المهدورة. إن من الضروري

تقييم الآلة، لا من حيث جودتها وديمومتها فحسب، بل من حيث طول المدة ومقدار المال اللازمين لإصلاحها أيضاً.

4.3.10 التصميم

يُعدُّ تصميم الآلة من الاعتبارات المهمة. ونظراً إلى تنوع الآلات الزراعية، يمكن تصاميم مختلفة أن تُعطي مستوى مقبولاً من الأداء، ومع ذلك فإن اختلافات بسيطة في التصميم يمكن أن تجعل آلة أكثر ملائمة من غيرها لمهمة معينة. وفي ما يخص معظم آلات الفلاحة، تتحدد تكلفة الآلة، في المقام الأول، بمقدار الفولاذ الذي تحتوي عليه. فآلة الفلاحة المصممة للاستعمال في الحقول الكبيرة والمنبسطة نسبياً تتضمن مقاطع فولاذية كبيرة جاسئة، في حين أن الآلة المصممة لحقول ذات تضاريس مجلّة فتحتاج إلى هيكل مجزأ أكثر مرونة. وتتطلب زيادة المرونة هيكلًا أكثر تعقيداً، ومن ثمّ أعلى تكلفة. وأحياناً من الصعب معرفة سمات التصميم التي تعزّز قيمة من أجل مهمة معينة من دون فهم مزايا وعيوب التصاميم المختلفة.

5.3.10 المقدرة

كان التوجّه السائد في الزراعة نحو المزارع الكبيرة. وزاد هذا التوجّه من الحاجة إلى آلات ذات إمكانيات أكبر. وقد ناقشنا في فصل سابق أن الخيارات المتاحة لزيادة مقدرة الآلة هي: استعمال عرض أكبر، والعمل بسرعة أكبر (وكلتا الحالتين تتطلبان استطاعة أعلى)، وزيادة كفاءة التشغيل.

ومن المهم أيضاً أن نكون قادرين على إنجاز العمل ضمن المدة المحددة. ومن سوء الطالع أن المعلومات عن المدد المحددة الحرجة لإنجاز الأعمال الزراعية محدودة. إلا أن المقطع التالي يتضمن بعض مفاهيم الإنجاز في الوقت المحدد وتأثير مقاس الآلة فيه.

4.10 مقاس الآلة الأمثلي

يُعتبر اختيار مقاس الآلة الأمثل من أوجه تخفيض تكاليف الإنتاج. فعندما تكون الآلة صغيرة جداً، يمكن أن تكون تكاليف تشغيلها أكبر، ويمكن مقدرتها المنخفضة أن تتطلب مدداً أطول لإنجاز العمل. من ناحية أخرى، من الممكن تحميل الآلة بقوة أكبر من القوى المصممة من أجلها عندما يكون مقاسها صغيراً مقارنة بالاستطاعة المتوافرة فيها. وعندما تكون الآلة كبيرة جداً، تمثل الاستطاعة عاملاً محدداً، وقد لا تعطي الآلة النتائج المرجوة منها، أو قد يقصر عمر الجرّار لأن الجرّارات الحديثة تُصمّم الآن لجر أحمال أخف والسير بسرعات أعلى.

يمكن انتقاء مقاس الآلة الأمثل تبعاً لوجهتي نظر مختلفتين: يمكن الانتقاء تبعاً لطول المدة المتاحة لإنجاز عمل ما، أو تبعاً لمقدار الاستطاعة المتوافرة في الآلة (الجرّار). وتعتمد وجهة النظر المتبعة على الحالة الحقلية.

وعندما يكون العامل المحدد هو المدة، فإن الموصى به هو تحديد المدة المتاحة لإنجاز العمل، ثم تحديد مقاس الآلة اللازم لتحقيق ذلك. وبعد تحديد مقاس الآلة، يمكن تحديد مقاس الجرّار اللازم لتشغيلها. وقد تؤدي متطلبات الإنجاز ضمن المدة المحددة إلى الحاجة إلى جرّار أكبر ليغذي الآلة بالاستطاعة. ليست المناقشة التفصيلية لمسألة الإنجاز في الوقت المحدد من اهتمامات هذا الكتاب، إلا أننا سوف نستعرض هذا المفهوم لتحديد مقاس الآلة والجرّار.

وعندما تكون الاستطاعة هي العامل المحدد، فإن الإجراء الموصى به هو تحديد أكبر مقاس للآلة يمكن تغذيته بالاستطاعة من الجرّار. وعندما تكون الاستطاعة هي العامل المحدد، يمكن الحسابات أن تؤدي إلى متطلبات زمنية

لإنجاز العمل غير عملية. وفي المثال الوارد في المسألة التالية سوف نوفّق بين مقاسي الآلة والجرّار من حيث الإنجاز في الوقت المحدّد.

مسألة: من التوصيات العامة ألاّ تستغرق أعمال الحراثة الرئيسية لزراعة الذرة أكثر من أسبوع واحد. فإذا كنت تتوقع زراعة 500 إيكّر من الذرة والعمل 12.0 ساعة في اليوم مدة 6 أيام في الأسبوع، فما مقياس المحراث ذي السكة الذي تحتاج إليه إذا كنت تستطيع الحراثة بسرعة وكفاءة نموذجيين؟

الحل: الخطوة الأولى هي تحديد مقدرة المحراث بالإيكّر في الساعة اللازمة لحراثة الأرض في خلال المدة المتاحة. ويمكن تحقيق ذلك باستعمال حذف الوحدات:

$$C_E \left(\frac{\text{ac}}{\text{hr}} \right) = \frac{500 \text{ ac}}{1 \text{ wk}} \times \frac{1 \text{ day}}{12.0 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ wk}}{6 \text{ day}} = 6.944 \dots \text{ or } 6.9 \frac{\text{ac}}{\text{hr}}$$

لحراث 500 إيكّر في أسبوع، يجب أن يكون عرض سكة المحراث وسرعته بحيث تساوي مقدّره 6.9 إيكّرات في الأسبوع. والخطوة التالية هي تحديد عرض المحراث. ويتحقّق ذلك بتذكّر أن مقدرة الآلة الحقلية تتحدّد باستعمال معادلة المقدرة الفعلية المعطاة في الفصل 9:

$$C_E = \frac{V \times w \times E_f}{8.25}$$

بإعادة ترتيب هذه المعادلة لحساب العرض w ، وبالبحث عن السرعة الملائمة والكفاءة في الملحق 4، ينتج العرض المطلوب:

$$\begin{aligned} w &= \frac{C_E \times 8.25}{V \times E_f} = \frac{6.90 \frac{\text{ac}}{\text{hr}} \times 8.25}{4.5 \frac{\text{mi}}{\text{hr}} \times 0.80} = \frac{56.925}{3.6} \\ &= 15.8125 \text{ or } 16 \text{ ft} \end{aligned}$$

كي تتمكّن من حرث الحقل في أسبوع، وبافتراض أن المحراث سوف يعمل بسرعة ومردود نموذجيين، تحتاج إلى محراث ذي عرض فعال يساوي 16 قدماً. لكن مقاسات المحارث لا تعطى عادة بالعرض مقدراً بالأقدام، بل بالعرض الفعال لأسفل كل سكة وعدد السكك. والعرض 16 قدماً يماثل العرض الذي يتصف به محراث 12-16 (12 سكة عرض كل منها يساوي 16 إنشاً).

الخطوة التالية هي تحديد مقياس الجرّار اللازم لجر المحراث. ويتحقّق ذلك بتحديد استطاعة قضيب الجرّار اللازم. أولاً يُستعاض عن حد القوة في معادلة استطاعة قضيب الجرّار بحد قوة الجر D_F :

$$P_{Dbhp} = \frac{D_F \times V}{375}$$

P_{Dbhp} : استطاعة قضيب الجرّار مقدّرة بالحصان البخاري.

استعملنا عبارة قوة الجر لوصف مقدار القوة اللازمة لجر المحراث. يعطي الملحق 5 القيم المعيارية الواردة في معيار ASABE الخاص بقوة الجر في الآلات الزراعية. لاحظ أنه قد استُعمل أكثر من نوع واحد من الوحدات لقوة الجر. أي إن قوة جر المحراث مقدّرة بالليبرة للإنش المربع (مساحة المقطع العرضاني)، إضافة إلى عاملَي سرعة ومساحة أسنان نابضية معطين بالليبرة للقدم من العرض، وأن استطاعة بعض الآلات الدوّارة معطاة بالحصان البخاري. لذا من الضروري إيلاء الوحدات المستعملة عناية خاصة بحيث يمكن تعديل المعادلة. وتُحسب قوة الجر بالمعادلة التالية:

$$D_F = F_i \times [C_1 + (C_2 \times V) + (C_3 \times V^2)] \times w \times T_d$$

حيث D_F هي قوة الجر مقدّرة بالليبرة أو النيوتن، و F_i هو عامل خشونة التربة. في حالة التربة الناعمة، $i = 1$ ، وفي حالة التربة المتوسطة $i = 2$ ،

وفي حالة التربة ذات البنية الخشنة $i = 3$ و C_1 و C_2 و C_3 هي متوسطات تخص الآلة معطاة في الملحق 5. و w هو عرض الآلة مقدراً بالقدم أو المتر، و T_d هو عمق ثلم الحراثة مقدراً بالإنش أو السنتيمتر.

مسألة: ما استطاعة قضيب الجر ($Dbhp$) في الجرّار اللازم لجر المحراث 12-16 (عرض المحراث يساوي 16.0 قدماً، 12 سكة) الذي جرى حسابه في المسألة السابقة؟

الحل: أولاً نحصل على قيمة قوة جر المحراث من الملحق 5. لاحظ أن قوة جر المحراث تختلف باختلاف نوع التربة، وسوف نفترض هنا أن التربة صلصالية، وهي تربة ذات بنية ناعمة.

من الملحق 5: نحصل على المتوسطات التالية للوحدات العادية الأميركية:

$$F_i = 1.0 \quad C_1 = 113 \quad C_2 = 0 \quad C_3 = 2.3$$

ويساوي عمق ثلم الحرث $T_d = 6$ in، ويساوي عرض المحراث $w = 16$ ft.

بالتعويض في المعادلة السابقة نجد:

$$\begin{aligned} D_F &= F_i \times [C_1 + (C_2 \times V) + (C_3 \times V^2)] \times w \\ &\quad \times T_d \\ &= 1.0 \times [113 + (0 \times 4.5) + (2.3 \times 4.5^2)] \times 12 \text{ bottoms} \\ &\quad \times \frac{16 \text{ in}}{\text{bottom}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \times 6.0 \text{ in} \\ &= \frac{183,830.4}{12} = 15,319.2 \text{ or } 15,000 \text{ lb} \end{aligned}$$

سكة: Bottom.

وباستعمال معادلة استطاعة قضيب الجر نجد:

$$P_{Dbbhp} = \frac{D_F \times V}{375}$$

$$= \frac{15,000 \times 4.5}{375} = 180.0 \text{ hp}$$

باستعمال السرعة والكفاءة النموذجيتين، وبحرث التربة الصلصالية بعمق 6 إنشات، يحتاج المحراث 12-16 إلى جرّار استطاعة قضيب الجر فيه تساوي 180 حصاناً بخارياً.

لقد أصبحت إحدى نتائج استعمال هذه الطريقة لتحديد مقاسات الآلات واضحة الآن. فقد يكون مقاس الجرّار المحسوب أكبر من مقاس الجرّار الذي تقتنيه. فما هي خياراتك إذا لم تكن تريد شراء جرّار أكبر؟ يتطلب الحرث عادة أكبر قوة جر في المزرعة، ولذا يمكن استئجار الجرّار مدة تكفي للحرثة. ويمكن تعهيد عملية الحرثة لجهة ثانية. ومن الخيارات الأخرى التي تُمكنك من إنجاز الحرثة بالجرّار المتوافر ضبط واحد أو أكثر من عوامل معادلة استطاعة قضيب الجر. ومن الطرائق الشائعة إطالة المدة اللازمة لإنجاز عملية الحرثة. ومن الممكن أيضاً تقليل قوة الجر بتقليل عمق الحرث أو سرعة حركة الجرّار. وفي بعض الحالات، قد يكون هذان الخياران هما أفضل الخيارات، لكن في المسألة التالية، سوف نغيّر المدة المتاحة.

مسألة: افترض أن استطاعة قضيب الجر، في أكبر جرّار متوافر لديك لجر المحراث في المثال السابق، تساوي 100 حصان بخاري. فإذا استعمل هذا الجرّار، فكم يوم عمل يستغرق حرث 500 إيكير بافتراض أن طول يوم العمل يساوي 12 ساعة؟

الحل: أولاً نحدّد مقاس المحراث الذي يمكن الجرّار ذا قضيب الجر الذي

تساوي استطاعته 100 حصان بخاري أن يجره. ويتحقق ذلك بإعادة ترتيب معادلة استطاعة قضيب الجر لحساب العرض (لأن المساحة $A = \text{العرض} \times \text{العمق}(d)$):

$$w(\text{in}) = \frac{D b h p \times 375}{D \times d \times S} = \frac{100.0 \text{ hp} \times 375}{\frac{14.0 \text{ lb}}{\text{in}^2} \times \frac{6 \text{ in}}{1} \times \frac{4.50 \text{ mi}}{1 \text{ hr}}} \\ = \frac{37500}{378} = 99.206 \dots \text{ or } 99.2 \text{ in}$$

ضمن الظروف المنصوص عليها في هذه المسألة، يستطيع جرّار استطاعة قضيب الجر فيه تساوي 100 حصان بخاري جر محراث عرضه 99.2 إنشاً. ويمكن المحراث الذي عرضه 99.2 إنشاً أن يكون ذا 6.2 سكك، أو ذا ست سكك عرض كل منها 16 إنشاً، أي محراث 6-16، أي عرضه يساوي 8.00 أقدام.

الخطوة التالية هي حساب مقدرة المحراث الذي يساوي عرضه 8.00 أقدام:

$$C_E = \frac{S \times w \times E_f}{8.25} = \frac{4.5 \frac{\text{mi}}{\text{hr}} \times 8.00 \text{ ft} \times 0.80}{8.25} \\ = \frac{28.8}{8.25} = 3.4909 \dots \text{ or } 3.5 \frac{\text{ac}}{\text{hr}}$$

ويُحدّد عدد أيام العمل باستعمال حذف الوحدات:

$$N_{\text{days}} = \frac{1 \text{ day}}{12 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3.5 \text{ ac}} \times 500 \text{ ac} \\ = 11.9047 \dots \text{ or } 11.9 \text{ days}$$

هذا يعني أنه باستعمال جرّار استطاعة قضيب الجر فيه تساوي 100 حصان

بخاري بدلاً من 193 حصاناً بخارياً يتطلب 6 أيام إضافية (مقارنة بـ 12 يوماً) لإنجاز حراثة الحقل.

وثمة حالة أخرى تظهر في الأعمال الزراعية هي تحديد مقاس الآلة التي يمكن الجرّار تقديم الاستطاعة لها.

مسألة: ثمة فرصة جيدة لشراء جرّار ذي عمود تدوير خلفي استطاعته تساوي 185 حصاناً بخارياً. ما مقاس (عرض) مساحة الإزاحة القرصية (w_{dh}) والعزّاقة الحقلية (w_{fc}) اللتين تحتاج إليهما مع جرّارك؟ تعمل المساحة القرصية بعمق 6 إنشات. افترض أن التربة صلصالية، وافترض أخفض قيمة نموذجية للسرعة والكفاءة. **ملاحظة:** تذكر أن تحوّل استطاعة عمود التدوير الخلفي إلى استطاعة قضيب جر باستعمال قاعدة الـ 86%.

الحل: أولاً نحوّل استطاعة عمود التدوير الخلفي إلى استطاعة عمود جر :

$$P_{Dbhp} = PTO_{hp} \times 0.86 = 185 \text{ hp} \times 0.86 = 159 \text{ hp}$$

وتُحسب قوة الجر بعد إعادة ترتيب معادلة استطاعة قضيب الجر :

$$P_{Dbhp} = \frac{V \times D_F}{375}$$

$$D_F = \frac{P_{Dbhp} \times 375}{V}$$

$$= \frac{159 \text{ hp} \times 375}{3.5 \text{ mph}} = 17,035.71 \dots \text{ or } 17,000 \text{ lb}$$

بأخذ المتوسطات التالية الخاصة بمعادلة قوة الجر من الملحق 5 لتربة صلصالية ناعمة:

$$F_i = 1.0C_1 = 62 C_2 = 5.4 C_3 = 0$$

وإعادة ترتيب معادلة قوة الجر بغية حساب عرض الآلة:

$$D_F = F_i \times [C_1 + (C_2 \times V) + (C_3 \times V^2)] \times w \times T_d$$

$$w(ft) = \frac{D_F}{F_i \times [C_1 + (C_2 \times V) + (C_3 \times V^2)] \times T_d}$$

$$= \frac{17,000}{1.0 \times [62 + (5.4 \times 3.5) + (0 \times 3.5^2)] \times 6}$$

$$= \frac{17,000}{485.4} = 35.022 \dots \text{or } 35 \text{ ft}$$

يستطيع الجرّار ذو قضيب التدوير الخلفي الذي تساوي استطاعته 185 حصاناً بخارياً جر مساحة إزاحة قرصية يصل عرضها حتى 35 قدماً على تربة صلصالية حين العمل عند الطرفين الأدنى من مجالي السرعة والكفاءة. وتُحسب قوة جر العزّاقة الحقلية الثانوية على شكل قوة مقدّرة بالليبرة للأداة (مجرفة، كاسحة... إلخ) إضافة إلى عامل سرعة. لذا، فإن عدد سيقان العزّاقة يُحدّد بمقاس العزّاقة. وتحوّل معادلة استطاعة قضيب الجر من أجل العزّاقة بحيث يُعطى العرض مقدّراً بعدد السيقان:

$$w(shank) = \frac{D_F}{F_i \times [C_1 + (C_2 \times V) + (C_3 \times V^2)] \times T_d}$$

ساق: *shank*.

والخطوة الأولى في تحديد مقاس العزّاقة التي يمكن أن يجرها جرّار استطاعته تساوي 159 حصاناً بخارياً هي تحديد عدد سيقان العزّاقة. بافتراض أن عمق ثلم العزق يساوي 3 إنشات، نحصل من الملحق 5 على متوسطات العزّاقة الحقلية الثانوية التالية:

$$F_i = 1.0 C_1 = 19 C_2 = 1.8 C_3 = 0$$

وباستعمال معادلة قوة الجر يُحسب عرض العزّاقة w (بدلالة عدد السيقان أو الأدوات أو المجارف في هذه الحالة):

$$w = \frac{D_F}{F_i \times [C_1 + (C_2 \times V) + (C_3 \times V^2)] \times T_d}$$

$$= \frac{17,000}{1.0 \times [19 + (1.8 \times 6) + (0 \times 6^2)] \times 3}$$

$$= \frac{17,000}{89.4} = 190.156 \text{ or } 191 \text{ tools or shanks}$$

يستطيع الجرّار ذو قضيب التدوير الخلفي الذي تساوي استطاعته 185 حصاناً بخارياً أن يجر عزّاقة حقلية ذات 191 ساقاً. ويعتمد عرض العزّاقة على عدد صفوف السيقان وعلى التباعد بين السيقان المتجاورة. فمثلاً، من الترتيبات الممكنة أن تتضمن العزّاقة ثلاثة صفوف من السيقان غير المتحاذية، بحيث يكون الصفان الثاني والثالث منزاحين بالمسافة عينها بالنسبة إلى سيقان الصف الأمامي التي تفصل بينها مسافات تساوي 21 إنشاً. حينئذ يكون في هذه التشكيلة 191 ساقاً (64 و 63 و 64)، ويساوي عرض العزّاقة 112 قدماً (64 ساقاً أو أداة $\times 21$ إنشاً $\div 12$ إنشاً للقدم). **ملاحظة:** تساوي المسافة بين الساقين الطرفيين $21 \times 63 \div 12$ إنشاً للقدم، أي 110.25 أقدام. ويتضمن العرض الفعال نصف المسافة بين ساقين متجاورين في كل طرف من الصف، ولذا يساوي $131.25 = 10.5 + 10.5 + 110.25$ قدماً.

يحتوي الملحق 5 على قوى جر الآلات بالصيغة التي تظهر بها في مقاييس الجمعية الأميركية للمهندسين الزراعيين والحيويين ASABE. ويمكن أن تحتوي مصادر أخرى على قيم لقوى الجر للآلات مقدّرة بالليبرة للقدم. لذا، إذا استُعملت تلك القيم، لا حاجة إلى تغيير معادلة استطاعة قضيب الجر في كل

مرة، إلا أن الحسابات لن تكون دقيقة كدقة حسابات هذا المثال.

5.10 تكاليف الآلات

نناقش في هذا المقطع العناصر التي تُسهم في تكلفة اقتناء وتشغيل الآلات الزراعية. ففهم أنواع التكاليف وتأثيرها في ربحية المشروع يحسّن قدرتنا على اتخاذ قرارات صائبة بشأن إدارة استعمال التجهيزات الزراعية.

إن من المفضل بناء القرارات على التكاليف الفعلية للآلة. يسجل المهندسون الجيدون التكاليف السنوية للآلات، إلا أن التكاليف الكلية لا تصبح معروفة إلا بعد وصول الآلة إلى نهاية حياتها العملية، أي إلى أن تهترئ أو تُباع أو تحصل مبادلتها بآلة جديدة. لذا يجب تحديد التكاليف من خلال التقديرات. ولجعل تلك التقديرات عملية وموثوقة، تجب إقامتها على أداء الآلة السابق وعلى سجلات تكاليفها. وفي المقاطع التالية سوف نناقش التكاليف الشائعة لاقتناء الآلات وتشغيلها، فضلاً عن الطرائق التي يمكن استعمالها لتقدير تكاليف التجهيزات الزراعية.

تصنّف تكاليف الآلات عموماً في فئتين هما تكاليف الاقتناء (وهي تكاليف ثابتة) وتكاليف التشغيل (وهي تكاليف متغيرة):

التكاليف الثابتة:

1. تآكل القيمة (الاهتلاك)
2. فوائد الأموال المستثمرة
3. الضرائب
4. مكان الإيواء
5. التأمين

التكاليف المتغيرة:

6. إصلاح وصيانة

7. وقود

8. زيت

9. يد عاملة

10. مستهلكات

1.5.10 التكاليف الثابتة

تتصف التكاليف الثابتة بأنها مستقلة عن استعمال الآلة، وتترتب سواء استُعملت الآلة أم لا. ولذا يُشار إليها بأنها تكاليف الاقتناء. وتُقدَّر كل تكلفة على أساس سنوي. أما التكاليف الثابتة الشائعة فهي:

1. **تآكل (اهتلاك) القيمة:** تآكل القيمة هو انخفاض قيمة الآلة مع مرور الزمن، سواء استُعملت أم لا. ويمكن اعتبار تآكل القيمة على أنه مقدار المال الذي يجب ادّخاره كل عام بحيث يمكن استعمال مجموع المدّخرات في نهاية حياة الآلة، مع قيمة الآلة التعويضية، لاستبدالها. وثمة خيارات عديدة لطرائق حساب التآكل لأغراض التكلفة والضرائب. لكن جميع تلك الطرائق تتطلب تقديراً لعمر الآلة الفعال، وأبسطها هي طريقة التآكل الخطي:

$$\frac{\$}{\text{yr}} = \frac{P - SV}{\text{yr}}$$

حيث $\$/\text{yr}$ هو التآكل السنوي، و P هو سعر الشراء، و SV هي القيمة التعويضية، و yr هو عدد سنوات الخدمة.

مسألة: حدّد التآكل السنوي لآلة سعر شرائها يساوي 15,400 دولاراً، والقيمة التعويضية لها تساوي 800.00 دولار، وعمرها الفعال يساوي 8 سنوات.

الحل:

$$\frac{\$}{\text{yr}} = \frac{P - SV}{\text{yr}}$$
$$\frac{15,400.00 - 800.00}{8} = 1,825.00 \frac{\$}{\text{yr}}$$

يساوي تأكل القيمة الخطي للآلة في هذا المثال 1825.00 دولاراً سنوياً.

2. فوائد الأموال المستثمرة: يجب احتساب تكلفة الفائدة ضمن التكاليف الثابتة لأن المال المجدد في شراء الآلة يمكن لولا ذلك أن يُستعمل لأغراض أو استثمارات أخرى. وعندما يُستدان مال بغية شراء آلة، تجب إضافة فوائد الدين السنوية إلى تأكل قيمة الآلة لاستعمالها في تقدير تكاليف الاقتناء السنوية. وتسمى الطريقة التي تتضمن تكاليف الاقتناء السنوية وقيمة فوائد المال الزمنية بعامل استعادة رأس المال (CFR) الذي يُحسب بالمعادلة التالية:

$$R = \left\{ (P - S) \times \frac{\left(\frac{i}{q} \right) \times \left(1 + \frac{i}{q} \right)^{nq}}{\left\{ \left(1 + \frac{i}{q} \right)^{nq} \right\} - 1} \right\} + \frac{Si}{q}$$

حيث R هي دفعة مالية من سلسلة الدفعات المتساوية التي تصبح مُستَحَقَّة في نهاية كل فترة احتساب للفائدة المركَّبة، و q هو عدد مرات احتساب الفائدة في السنة، و P هو المبلغ الرئيسي المستثمر، و i هو معدل الفائدة المركَّبة التي تُحسب q مرة في السنة، و n هي مدة القرض مقدَّرة بالسنة، و S هي القيمة التعويضية مقدَّرة بالدولار.

مسألة: حدّد عامل استعادة رأس المال لآلة ثمن شرائها يساوي 125,000.00 دولار، وقيمتها التعويضية تساوي 3000.00 دولار. واستعمل

في شرائها قرض مدته عشر سنوات وفائدته السنوية تساوي 10.5%.

الحل:

$$\begin{aligned}
 R &= \left\{ (P - S) \times \frac{\left[\left(\frac{i}{q} \right) \times \left(1 + \frac{i}{q} \right)^{nq} \right]}{\left\{ \left(1 + \frac{i}{q} \right)^{nq} \right\} - 1} \right\} + \frac{Si}{q} \\
 &= \left\{ (\$125,000.00 - \$3,000.00) \right. \\
 &\quad \times \left. \frac{\left[\left(\frac{0.105}{1} \right) \times \left(1 + \frac{0.105}{1} \right)^{10 \times 1} \right]}{\left\{ \left(1 + \frac{0.105}{1} \right)^{10 \times 1} \right\} - 1} \right\} \\
 &\quad + \frac{\$3,000.00 \times 0.105}{1} \\
 &= \left\{ \$122,000.00 \times \left[\frac{0.105 \times 2.714 \dots}{2.714 \dots - 1} \right] \right\} + \$315.00 \\
 &= \{ \$122,000 \times 0.166 \dots \} + \$315.00 \\
 &= 20598.3912 \text{ or } 20,600 \frac{\$}{\text{yr}}
 \end{aligned}$$

يساوي عامل استعادة رأس المال في هذا المثال 20,600.00 دولار سنوياً.

3. الضرائب: يجب اعتبار جميع ضرائب الممتلكات والمبيعات المدفوعة

بسبب الآلة من التكاليف الثابتة. والضريبة التقديرية السنوية عن الآلات الزراعية تساوي 1% من قيمتها المتبقية.

مسألة: ما مقدار الضريبة السنوية عن السنة الثانية من اقتناء آلة سعر شرائها يساوي 55,000.0 دولار إذا كان عمرها المتوقع يساوي 12 سنة؟ تساوي قيمة الآلة التعويضية 500.00 دولار.

الحل: أولاً تُحدَّد قيمة الآلة في بداية السنة الثانية من عمرها، وتساوي هذه القيمة سعر شرائها بعد تأكل قيمتها في السنة الأولى من عمرها. بافتراض تأكل خطي للقيمة، يساوي التأكل السنوي:

$$\frac{\$55,000.00 - \$500.00}{12 \text{ yr}} = 4,541.666 \dots \text{ or } 4,540.00 \frac{\$}{\text{yr}}$$

وتساوي قيمة الآلة في بداية السنة الثانية من عمرها:

$$\$55,000.00 - \$4,540.00 = \$50,460.00$$

وتساوي الضريبة السنوية عن السنة الثانية:

$$\$50,460.00 \times \frac{0.01}{\text{yr}} = 504.60 \frac{\$}{\text{yr}}$$

4. تكلفة الإيواء: يجب تخصيص تكلفة لإيواء الآلة، وحينئذ تُحدَّد التكلفة وتُخصَّص على مدى حياة الآلة. وإذا لم توضع الآلة في مأوى لها، وجب تخصيص تكلفة إيواء لها أيضاً لأن قيمة بيع الآلة سوف تكون أقل من قيمتها لو كانت موضوعة في مأوى. والقيمة التقديرية لتكلفة الإيواء تساوي 0.75% من قيمة الآلة في بداية كل سنة من عمرها.

مسألة: ما مقدار تكلفة الإيواء السنوية في السنة الرابعة من عمر آلة سعر

شرائها يساوي 4500.00 دولار إذا كان عمرها المتوقع يساوي 5 سنوات، وكانت قيمتها التعويضية تساوي 1500.00 دولار؟

الحل: أولاً يجري تحديد قيمة الآلة في بداية السنة الرابعة من عمرها. بافتراض تآكل خطي لقيمة الآلة، يساوي التآكل السنوي:

$$\frac{\$4,500.00 - \$1,500.00}{5 \text{ yr}} = 600.00 \frac{\$}{\text{yr}}$$

وتساوي قيمة الآلة في بداية السنة الرابعة:

$$\begin{aligned} \$4,500.00 - \left(\frac{600.00\$}{\text{yr}} \times 3 \text{ yr} \right) &= \$4,500.00 - \$1,800.00 \\ &= \$2,700.00 \end{aligned}$$

وتساوي تكلفة الإيواء في أثناء السنة الرابعة:

$$\$2,700.00 \times \frac{0.0075}{\text{yr}} = 20.25 \frac{\$}{\text{yr}}$$

تقدّر تكلفة إيواء الآلة في السنة الرابعة من عمرها 20.25 دولاراً.

5. التأمين: يجب تضمين أي تأمين عن حوادث أو استبدال الآلة في تكاليف الآلة الثابتة. تساوي تكلفة التأمين السنوية للآلة عادة 0.25% من قيمتها المتبقية في بداية سنة التأمين.

مسألة: حدّد تكلفة التأمين مدى الحياة لآلة سعر شرائها يساوي 125,500.00 دولار وعمرها المتوقع يساوي 15 سنة وقيمها التعويضية تساوي 10,000.00 دولار.

الحل: نتحدّد تكلفة تأمين الآلة السنوية بضرب نسبة التأمين بقيمة الآلة في بداية سنة التأمين. ونتحدّد تكلفة تأمين الآلة مدى الحياة بجمع تكاليف التأمين السنوية. ونظراً إلى تآكل قيمة الآلة تنخفض قيمتها كل سنة وتنخفض معها

تكلفة التأمين السنوية. ويمكن حل هذه المسألة باستعمال معادلة معقدة على غرار تلك المستعملة في الأمثلة السابقة، إلا أنها مثال أيضاً لمسألة يمكن حلها باستعمال وُزَيْقات جدولة وفقاً للمبين في الجدول 1.10. بافتراض تأكل خطي للقيمة، تساوي تكلفة تأمين الآلة مدى الحياة 2,685.00 دولار.

الجدول 1.10 وُزَيْقة جدولة لتحديد تكاليف تأمين آلة مدى الحياة.

سعر الشراء	125,500.00 دولار	
عامل التأمين	0.0025	
تأكل القيمة السنوي	7,700.00 دولار	
السنة	قيمة الآلة (دولار)	تكلفة التأمين (دولار)
1	125,000.00	313.75
2	117,800.00	294.50
3	110,100.00	275.25
4	102,400.00	256.00
5	94,700.00	236.75
6	87,000.00	217.50
7	79,300.00	198.25
8	71,600.00	179.00
9	63,900.00	159.75
10	56,200.00	140.50
11	48,500.00	121.25
12	40,800.00	102.00
13	33,100.00	82.75
14	25,400.00	63.50
15	17,700.00	44.25
المجموع		2,685.00 دولار

تساوي تكلفة تأمين الآلة مدى الحياة 2,685.00 دولار.

وتساوي التكلفة السنوية لاقتناء آلة مجموع التكاليف الثابتة المذكورة آنفاً. لاحظ أننا لم نتطرق حتى الآن إلى استعمال الآلة.

وبتوافر سجلات دقيقة، يمكن تحديد تكلفة الآلة الثابتة السنوية بجمع كل التكاليف الثابتة FC في السنة. وفي طريقة أخرى يمكن ضم التكاليف الخمس ضمن نسبة مئوية سنوية (FC%). وتشير تحليلات بيانات التكلفة إلى أن ناتج ضرب النسبة المئوية للتكاليف السنوية الثابتة بسعر شراء الآلة يمثل تقديراً مقبولاً لتكلفة الاقتناء السنوية AOC للآلة:

$$AOC = FC\% \times P$$

ويمكن تقدير النسبة المئوية لتكلفة اقتناء الآلة بالمعادلة التالية:

$$C_o = 100 \times \left[\left(\frac{1 - S_v}{L} \right) + \left(\frac{1 + S_v}{2} \times l \right) + K_2 \right]$$

حيث C_o هي النسبة المئوية لتكلفة الاقتناء، و S_v هو عامل القيمة التعويضية (النسبة المئوية للقيمة التعويضية إلى سعر الشراء) للآلة عند نهاية عمرها، و L هو عمر الآلة مقدراً بالسنوات، و l هو معدل الفائدة السنوية، و K_2 هي النسبة العشرية لتكاليف الاقتناء المتعلقة بالضرائب والإيواء والتأمين.

مسألة: ما النسبة المئوية لتكلفة اقتناء آلة عمرها المتوقع يساوي 10 سنوات، ويساوي سعرها 23,000 دولار، وتساوي قيمتها التعويضية 3,400.00 دولار، وتساوي تكاليف ضرائبها وإيوائها وتأمينها 2%؟

الحل: نتحدد النسبة المئوية للاقتناء باستعمال المعادلة السابقة. وتحتاج تلك المعادلة إلى عامل القيمة التعويضية على شكل نسبة مئوية، وتحدد هذه النسبة بقسمة القيمة التعويضية على سعر الشراء وضرب الناتج بمئة:

$$S_v\% = \frac{\$3,400.00}{\$23,000.00} \times 100 = 14.78 \dots \text{or } 15\%$$

وتساوي النسبة المئوية للتكاليف الثابتة:

$$\begin{aligned}
C_o &= 100 \times \left[\left(\frac{1 - S_v}{L} \right) + \left(\frac{1 + S_v}{2} \times l \right) + K_2 \right] \\
&= 100 \times \left[\left(\frac{1 - 0.15}{10} \right) + \left(\frac{1 + 0.15}{2} \times 0.10 \right) + 0.02 \right] \\
&= 100 \times (0.085 + 0.0575 + 0.02) \\
&= 100 \times 0.1625 = 16.25 \text{ or } 16\%
\end{aligned}$$

مسألة: ما مقدار تكلفة الاقتناء السنوية AOC لحصادة سعر شرائها يساوي 150,000.00 دولار عندما تساوي النسبة المئوية لتكاليفها الثابتة 18%؟

الحل:

$$\begin{aligned}
AOC \left(\frac{\$}{\text{yr}} \right) &= FC\% \times P = 0.18 \times \$150,000.00 \\
&= 27,000.00 \frac{\$}{\text{yr}}
\end{aligned}$$

2.5.10 التكاليف المتغيرة

تتعلق التكاليف المتغيرة بتشغيل الآلة وتحصل فقط حين استعمالها. ويُستعمل مصطلح تكاليف التشغيل غالباً لوصف التكاليف المتغيرة. وتُحسب التكاليف المتغيرة عادة على أساس الساعة ، إلا أنه يمكن حسابها أيضاً منسوبة إلى الإيكر أو الرزمة أو أي وحدة ملائمة أخرى. والتكاليف المتغيرة الشائعة هي:

1. **تكاليف الإصلاح والصيانة (RM%)**: تتعلق تكاليف الإصلاح والصيانة بنوع الآلة وسعر الشراء وعدد ساعات الاستعمال، ويمكن تقديرها باستعمال المعادلة التالية:

$$C_{rm} = RF1 \times P \times \left(\frac{h}{1000}\right)^{RF2}$$

حيث C_{rm} هي التكلفة التراكمية للإصلاح والصيانة مقدرة بالدولار، و $RF1$ و $RF2$ هما عاملا الإصلاح والصيانة (انظر الملحق 4)، و P هو سعر شراء الآلة بالدولار الحالي الذي يُحسب بضرب السعر الأصلي بـ $(1+i)^n$ ، حيث i هو معدل التضخم الوسطي و n هو عمر الآلة الراهن، و h هو عدد ساعات عمل الآلة التراكمي.

مسألة: احسب تكاليف الإصلاح والصيانة التراكمية لحصادة ذاتية الدفع كانت قد اشتريت قبل 4 سنوات بسعر يساوي 90,000.00 دولار. يساوي عدد ساعات عمل الآلة التراكمي 1200 ساعة، ويساوي معدل التضخم الوسطي 6.5%.

الحل: يجب أولاً تعديل سعر الآلة لأخذ التضخم في الحسبان:

$$\begin{aligned} \$90,000.00 \times (1 + i)^n &= \$90,000.00 \times (1 + 0.065)^4 \\ &= \$90,000.00 \times 1.286 \dots \\ &= \$115781.9 \dots \text{ or } \$120,000 \end{aligned}$$

يمكن الآن تقدير تكاليف الإصلاح والصيانة:

$$\begin{aligned} C_{rm} &= RF1 \times P \\ &\quad \times \left(\frac{h}{1000}\right)^{RF2} \\ &= 0.04 \times \$120,000.00 \times \left(\frac{1200}{1000}\right)^{2.1} \\ &= \$4,800.00 \times 1.466 \dots = \$7039.1 \dots \text{ or } \$7,000.00 \end{aligned}$$

2. **تكلفة الوقود (F):** يتأثر استهلاك المحرك من الوقود بمقاسه ونسبة الحمل المثوية. ويمكن تقدير استهلاك المحرك الوسطي للوقود باستعمال المعيارين D497.4 و FEB03 اللذين وضعتهما الجمعية الأميركية للمهندسين الزراعيين والحيويين ASABE:

$$Q_{avg} = 0.0305 \times P_{pto}$$

حيث Q_{avg} هو استهلاك البنزين الوسطي مقدراً بالليتر في الساعة، و P_{pto} هي استطاعة محور التدوير الخلفي (مأخذ الاستطاعة) العظمى مقدرة بالكيلو واط، أو:

$$Q_{avg} = 0.06 \times P_{pto}$$

وذلك حين تقدير الاستطاعة بالحصان البخاري والاستهلاك بالغالون في الساعة. ويجب ضرب هاتين المعادلتين بـ 0.73 من أجل الديزل، وبـ 1.20 من أجل الغاز الطبيعي المسال.

مسألة: قدر استهلاك الوقود السنوي لجزار ذي محرك ديزل استطاعة محور التدوير الخلفي فيه تساوي 125 حصاناً بخارياً ويُستعمل 850 ساعة في السنة.

الحل: نستعمل أولاً معادلة لتحديد الاستهلاك بالساعة:

$$0.06 \times 125 \times 0.73 = 5.475 \text{ or } 5.5 \frac{\text{gal}}{\text{hr}}$$

والخطوة الثانية هي ضرب الاستهلاك الساعي بعدد ساعات العمل في السنة:

$$5.5 \frac{\text{gal}}{\text{hr}} \times 850 \frac{\text{hr}}{\text{yr}} = 4675 \text{ or } 4700 \frac{\text{gal}}{\text{yr}}$$

يتطلب تقدير استهلاك الوقود لعملية معينة تحديد استطاعة الجرّار الكلية اللازمة لتلك العملية. ويوفر المعيار ASABED497.4 طريقة لتقدير الاستهلاك للعمليات المختلفة.

3. تكاليف الزيت (O): تساوي تكاليف الزيت، التي تُقدَّر بالدولار في الساعة، جداء مقدار الزيت المستهلك في سعره. ويُقدَّر استهلاك الزيت بالغالون في الساعة، أو بالليتر في الساعة، ويُقدَّر سعره بالدولار للكوارت أو بالدولار لليتر. بافتراض أن تبديل الزيت يحصل وفقاً للمدد الموصى بها من قبل المصنّعين، يمكن تقدير كمية الزيت الكلية المستهلكة في الساعة (غالون في الساعة) وفقاً لما يلي:

$$(0.00011 \times P) + 0.00657 \quad \text{بنزين:}$$

$$(0.00021 \times P) + 0.00573 \quad \text{ديزل:}$$

$$(0.00008 \times P) + 0.00755 \quad \text{غاز طبيعي مسال:}$$

حيث P هي الاستطاعة الاسمية مقدّرة بالحصان البخاري. ويمكن تقدير الكمية الكلية للزيت المستعمل (ليتر في الساعة) بـ:

$$(0.000566 \times P) + 0.02487 \quad \text{بنزين:}$$

$$(0.00059 \times P) + 0.02169 \quad \text{ديزل:}$$

$$(0.00041 \times P) + 0.02 \quad \text{غاز طبيعي مسال:}$$

حيث P هي الاستطاعة الاسمية مقدّرة بالحصان البخاري.

مسألة: حدّد مقدار الزيت الذي سوف يُستعمل في جرّار ديزل استطاعة محور التدوير الخلفي فيه تساوي 120 حصاناً بخارياً.

الحل:

$$(0.00021 \times 120) + 0.00573 = 0.03093 \text{ or } 0.31 \frac{\text{gal}}{\text{hr}}$$

4. تكاليف اليد العاملة (L): الأجرة بالساعة لليد العاملة التي تُشغّل التجهيزات مقدّرة بالدولار في الساعة.

5. تكاليف المستهلكات (C): تُستعمل في بعض الآلات، مثل الرّزّامة، خيوط من ألياف القنب وشباك وغيرها من المواد التي تُستهلك بوصفها جزءاً من تشغيل الآلة.

تساوي تكاليف التشغيل الكلية الساعية للآلة، مقدّرة بالدولار في الساعة، مجموع البنود من 1 حتى 5 المذكورة آنفاً.

مسألة: حدّد التكاليف الكلية لغرّاة حبوب سعر شرائها يساوي 35,000.00 دولار وتُستعمل 120 ساعة في السنة. ويساوي عمرها المتوقّع 10 سنوات، وتساوي قيمتها التعويضية 1,000.00 دولار. ويجرّها جرّار ديزل استطاعته تساوي 98 حصاناً بخارياً. افترض أن معدل الفائدة يساوي 8%.

الحل: تساوي تكلفة الآلة السنوية الكلية مجموع التكاليف السنوية، الثابتة والمتغيّرة. ويمكن تحديد التكاليف الثابتة بحساب كل منها إفرادياً، أو باستعمال معادلة تكلفة الاقتناء التي تعطي نسبتها المئوية. وسوف نستعمل المعادلة المذكورة في هذا المثال:

التكاليف الثابتة: تحتاج معادلة تكلفة الاقتناء إلى التعبير عن القيمة التعويضية بنسبة مئوية. يساوي عامل القيمة التعويضية:

$$S_v\% = \frac{\$1,000}{\$35,000} \times 100 = 2.857 \dots \text{ or } 2.8\%$$

وتساوي التكاليف الثابتة الكلية:

$$\begin{aligned}
 C_o &= 100 \times \left[\left(\frac{1 - S_v}{L} \right) + \left(\frac{1 + S_v}{2} \times l \right) + K_2 \right] \\
 &= 100 \times \left[\left(\frac{1 - 0.028}{10} \right) + \left(\frac{1 + 0.028}{2} \times 0.08 \right) + 0.02 \right] \\
 &= 100 \times (0.0972 + 0.04112 + 0.02) \\
 &= 100 \times 0.15832 = 15.832 \text{ or } 16\%
 \end{aligned}$$

لذا تساوي التكاليف الثابتة الكلية:

$$\$35,000.00 \times \frac{0.16}{\text{yr}} = 5,600.00 \frac{\$}{\text{yr}}$$

التكاليف المتغيرة: التكاليف السنوية المتغيرة = تكاليف الإصلاح والصيانة + تكاليف الوقود + تكاليف الزيت + تكاليف اليد العاملة.

تكاليف الإصلاح والصيانة:

$$\begin{aligned}
 C_{rm} &= RF1 \times P \times \left(\frac{h}{1000} \right)^{RF2} \\
 &= 0.32 \times \$35,000.00 \times \left(\frac{120}{1000} \right)^{2.1} \\
 &= 0.32 \times \$35,000.00 \times 0.0116 \dots \\
 &= 130.466 \dots \text{ or } 130.00 \frac{\$}{\text{yr}}
 \end{aligned}$$

تكاليف الوقود: نتحدد تكلفة وقود غرّازة الحبوب باستطاعة وكفاءة وقود الجرّار. لكن هذا الكتاب لا يتضمن تقدير تكاليف الوقود لعمليات محددة، لذا انظر المعيار ASABED496 للحصول على تلك المعلومات. ويمكن تقدير

استهلاك الوقود الوسطي تبعاً لنوع الوقود واستطاعة الجرّار باستعمال معلومات المعيارين FEB03 و ASABE EP496.2.

يساوي استهلاك الوقود:

$$\begin{aligned} Q_{avg} &= 0.06 \times P_{pto} \times 0.73 \\ &= 0.06 \times 98 \times 0.73 \\ &= 4.2924 \text{ or } 4.3 \frac{\text{gal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

وتساوي تكلفة الوقود (بافتراض أن سعره يساوي 2.25 دولارين للغالون):

$$\frac{4.3 \text{ gal}}{\text{hr}} \times \frac{2.25 \$}{\text{gal}} \times \frac{120 \text{ hr}}{\text{yr}} = 1161 \text{ or } 1200 \frac{\$}{\text{yr}}$$

ويساوي استهلاك الزيت:

$$\begin{aligned} &= (0.00021 \times P) + 0.00573 \\ &= (0.00021 \times 98) + 0.00573 \\ &= 0.02631 \frac{\text{gal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

وبافتراض أن سعر الزيت يساوي 2.00 دولارين للكوارت، تساوي تكلفة الزيت:

$$\begin{aligned} &= \frac{2.00 \$}{\text{qt}} \times \frac{4 \text{ qt}}{\text{gal}} \times \frac{0.02631 \text{ gal}}{\text{hr}} \times \frac{120 \text{ hr}}{\text{yr}} \\ &= 25.25 \dots \text{ or } 25.00 \frac{\$}{\text{yr}} \end{aligned}$$

وتتحدّد تكاليف اليد العاملة بضرب عدد ساعات تشغيل الجرّار في السنة بأجرة

العامل في الساعة:

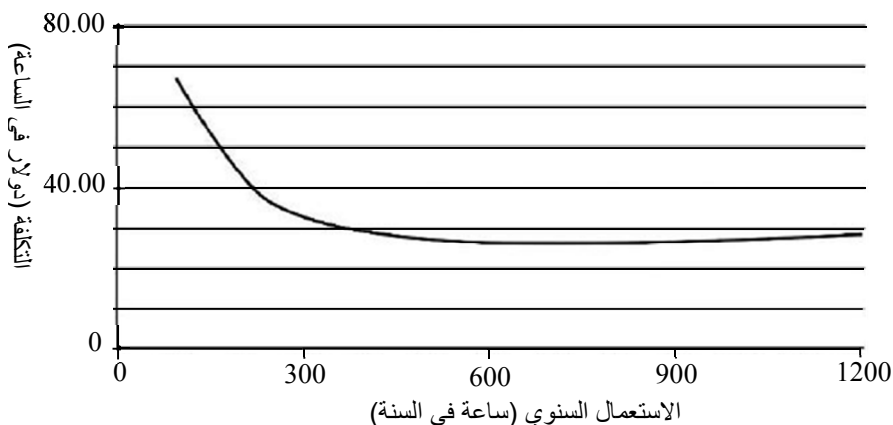
$$\frac{120 \text{ hr}}{\text{yr}} \times \frac{\$ 10.00}{\text{hr}} = 1,200.00 \frac{\$}{\text{yr}}$$

إذاً، تساوي التكاليف الكلية لاستعمال غرّازة الحبوب 120 ساعة في السنة مجموع التكاليف السنوية، الثابتة والمتغيرة:

$$\begin{aligned}
 &= 5,600.00 \frac{\$}{\text{yr}} + (130.00 \frac{\$}{\text{yr}} + 1,200.00 \frac{\$}{\text{yr}} + 25.00 \frac{\$}{\text{yr}} \\
 &\quad + 1,200.00 \frac{\$}{\text{yr}}) \\
 &= 5,600.00 \frac{\$}{\text{yr}} + 2,555.00 \frac{\$}{\text{yr}} \\
 &= 8,155 \text{ or } 8,200 \frac{\$}{\text{yr}}
 \end{aligned}$$

تفيد تقديرات تكاليف الآلة السنوية الكلية مالکها ومشغلها، لكن في ما يخص تعهّد العمل لمصلحة الآخرين، يحتاج المشغل إلى معرفة التكاليف مقدّرة بالدولار للإيكر، أو الدولار للساعة، أو الدولار للرزمة... إلخ. وتتأثّر تكلفة الآلة باستغلالها السنوي، لأنه عندما يزداد استغلالها السنوي، تتوزّع التكاليف الثابتة على عدد أكبر من الوحدات (الساعة أو الإيكر أو الرزمة، مثلاً). وهذا ما يجعل التكلفة الثابتة للوحدة أقل. ولتوضيح هذه النقطة، يُرى الشكل 1.10 تكلفة الإيكر لغرّازة الحبوب الواردة في المسألة السابقة لاستعمال سنوي يختلف من 100 حتى 1200 ساعة في السنة.

لاحظ أن التكاليف المقدّرة بالدولار في الساعة تتناقص حتى يصبح عدد ساعات الاستعمال السنوي نحو 700 ساعة، ثم تبدأ بالازدياد. ويحصل هذا لأن المعادلة التي استعملتها الجمعية الأميركية للمهندسين الزراعيين والحيويين ASABE لتقدير تكاليف الإصلاح والصيانة مصممة بحيث تزداد تلك التكاليف مع ازدياد استعمال الآلة.



الشكل 1.10 التكلفة الكلية لساعة الاستعمال.

6.10 طرائق تخفيض التكاليف

من سمات الإنتاج الزراعي أن الشاري يُحدّد عادة السعر الذي يعطيه للمنتجين في مقابل منتجاتهم، ولذا فإن أفضل طريقة لزيادة الأرباح هي تقليص تكاليف الإنتاج. لكن ليس ثمة من عامل بمفرده يمكن أن يقلّص تكاليف الإنتاج من خلال تقليص تكاليف اقتناء وتشغيل الجرّارات والآلات. ومع ذلك فإن الإدارة الجيدة للعوامل التالية تُقلّص تكاليف استعمال الآلات في الإنتاج.

1.6.10 استغلال عرض الآلة

يتصف العرض الفعال للآلة بأنه دائماً أصغر من عرضها الحقيقي إلا في حالة النباتات الصفية، لأن معظم عمال الآلات يُركبون أشواط مسح الأرض قليلاً لدرء بقاء فراغات بين الأشواط. لكن أي تراكب زائد عن الحاجة يقلّص المقدرة الفعلية للآلة ويزيد من تكلفة الإيكر.

2.6.10 استغلال الوقت

تُعتبر كل لحظة لا تكون فيها الآلة مستغلة في العمل المصممة من أجله هدراً للإنتاجية. وثمة عدة أساليب يمكن استعمالها لتقليص الوقت الضائع. أولاً، يجب إبقاء ضبط الآلة وتزيتها عند حد أصغري يتناسب مع الحاجة إلى خدمتها. وأفضل من ذلك، يجب إجراء ما أمكن من الصيانة في الظروف التي تمنع الآلة من العمل في الحقل.

ثانياً، يمكن جعل الأعطال أصغرية بتجنّب التحميل الزائد للآلة واتباع برنامج صيانة وقائية كامل. إن كل الآلات عرضة للأعطال وبحاجة إلى صيانة إضافية إذا جرى تحميلها فوق طاقتها أو أسيء استعمالها.

ثالثاً، يجعل الترتيب الجيد لأرض الحقل الدوران عند نهاية صف أو حول مستديرة أصغرياً. وثمة أنماط أمثلية لدوران كل أنواع الآلات الحقلية ومقاساتها. وتوفّر الكتب المتخصصة بالآلات مزيداً من المعلومات عن هذا الموضوع.

وثمة فكرة أخرى تتطوي على تقليص المدة اللازمة لإعادة التزوّد بالبذور والأسمدة والمبيدات باستعمال أكبر مقاس ممكن عملياً للقادوس أو الخزان. يُضاف إلى ذلك أن التجهيزات المستعملة لتعبئة الخزان أو القادوس يجب أن تكون ذات سعة يمكن ملؤها خلال مدة معقولة.

3.6.10 موائمة الجرّارات مع الآلات

توفّر الجرّارات استطاعة على نحو اقتصادي جداً حين تشغيلها عند أو بالقرب من جملها الاسمي. وإذا كان الحمل صغيراً جداً، أمكنت زيادته بزيادة عرض الآلة أو باستعمال آلتين إحداها تَجْرُ الأخرى. وزيادة السرعة تزيد أيضاً

من جمل الجرّار الفعال. وإذا لم تكن كل استطاعة الجرّار مستعملة، وكان من غير الممكن زيادة السرعة، أمكن تقليص تكاليف الوقود بنقل وضعية علبة السرعة إلى سرعة أعلى وتقليص ضخ الوقود في المحرك (انظر دليل المستعمل قبل محاولة فعل ذلك).

4.6.10 تقليص الاستثمار الأصلي

يُعدُّ السعر عاملاً رئيسياً في تحديد التكلفة الثابتة لاقتناء وتشغيل الآلات الزراعية. ويمكن تقليص التكلفة الأولية بشراء آلات مستعملة أو بصنع تجهيزات وآلات في ورشة المزرعة. وكلتا هاتين الطريقتين تعوّضان عن بعض التكاليف الأولية بالجهد البشري.

5.6.10 زيادة الاستغلال السنوي

وفقاً لما بيّناه في مقطع حساب التكاليف، كلما ازداد استغلال الآلة، كانت تكلفة الوحدة أقل. وثُمّكن زيادة الاستغلال بالملكية المشتركة، وبزيادة حجم المشروع، وبتعهّد أعمال الآخرين، وبزيادة موسم العمل من خلال تنويع الإنتاج.

6.6.10 زيادة عمر الآلة

تُعتبر إطالة عمر الآلة أحد أساليب تقليص الحاجة إلى شراء آلة جديدة. وثُمّكن إطالة عمر الآلة من خلال الصيانة الصحيحة والضبط المتأنّي وتجنّب التحميل الزائد واستخدام عمال مهرة. وثُمّكن إطالة عمر الآلة أيضاً من خلال التخزين الجيد في مواسم التوقّف عن العمل.

7.10 الاستغلال عند نقطة توازن الربح والخسارة

قدّمنا في المقطع السابق فكرة أن التكلفة الكلية للإيكر أو الساعة تتناقص مع ازدياد الاستغلال السنوي. وهذا هو أساس موازنة الربح والخسارة. ففيما يخص بعض العمليات، قد يكون من المربح اللجوء إلى استئجار عمال مع آلاتهم بدلاً من اقتناء وتشغيل آلة خاصة. وقد يتوقّف هذا القرار على الموازنة بين الربح والخسارة، أي على الاستغلال الذي تكون عنده تكاليف اقتناء الآلة مساوية لتكاليف التعاقد مع عمال.

افترض أن جداء النسبة المئوية للتكاليف السنوية الثابتة %FC لآلة في سعر شرائها P يساوي 1000 دولار، وافترض أيضاً أن تكاليف التشغيل تساوي 4.00 دولارات للإيكر. حينئذ تكون تعطى التكاليف السنوية الكلية TAC بالمعادلة التالية:

$$TAC = \$1,000.00 + (\$4.00 \times A)$$

حيث A هي المساحة المشغلة مقدّرة بالإيكر. احسب الآن قيمة TAC من أجل مساحات تساوي 10 و 50 و 100 و 200 و 500 إيكر. نتائج هذا الحساب مبينة في الجدول 2.10.

إذاً رغبتنا في تحديد تكلفة استغلال الآلة على أساس تكلفة الإيكر، قسّمنا التكلفة السنوية الكلية على المساحة في كل حالة، وحصلنا على القيم المبينة في الجدول 3.10.

وبمقارنة مستويات الاستغلال المختلفة يتبيّن أن تكلفة الإيكر تتناقص مع ازدياد الاستغلال. وبيّن تحليل الربح والخسارة في الشكل 2.10 أن عند معدل تعهيد العمل بأجرة تساوي 21.00 دولاراً للإيكر، فإن تكلفة الاستغلال السنوية لنحو 60 إيكر تكون أكثر اقتصادية حين تعهيد العمل. وحين استغلال أكثر

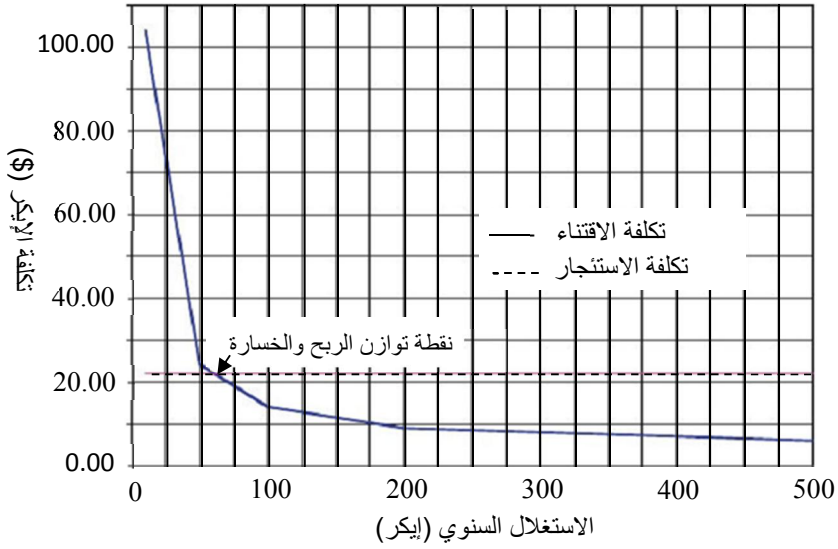
من 60 إيكراً في السنة، يكون اقتناؤك وتشغيلك لآلة خاصة بك أكثر اقتصادية.

الجدول 2.10 الاستغلال عند نقطة توازن الربح والخسارة.

المساحة (إيكر)	التكاليف السنوية الكلية (دولار)
10	1040
50	1200
100	1400
200	1800
500	3000

الجدول 3.10 تكلفة الإيكر.

المساحة (إيكر)	التكلفة السنوية الكلية (دولار)	تكلفة الإيكر (دولار)
10	1040	104
50	1200	24
100	1400	14
200	1800	9
500	3000	6



الشكل 2.10 تحليل الربح والخسارة في حالة التعهيد بتكلفة 22.00 دولاراً للإيكر.

يمكن استعمال هذه الطريقة أيضاً لتحديد نقطة توازن الربح والخسارة لتكاليف ذات وحدات مختلفة عن الدولار والإيكر. ولكي تعطي هذه العملية معلومات جيدة، يجب أن تكون وحدات أجرة ساعة التعاقد والتكاليف الكلية متماثلة.

يمكن تعريف نقطة توازن الربح والخسارة BEU بالمعادلة التالية:

$$BEU = \frac{AOC}{CR - OPC}$$

حيث AOC هي تكاليف الاقتناء السنوية مقدرة بالدولار في السنة، و CR هي أجرة الاستئجار مقدرة بالدولار عند نقطة توازن الربح والخسارة، و OPC هي تكاليف التشغيل مقدرة بالدولار في السنة.

صحيح أن هذا التحليل يؤدي إلى قرار سريع بخصوص اختيار حالة من

اثنين من أجل مقدار معين من وحدات نقطة توازن الربح والخسارة، إلا أن قرار الاختيار بين الملكية والاستئجار يجب أن يُلَطَّف بعوامل أخرى. يتضمن الجدول 4.10 بعض مزايا وعيوب استئجار التجهيزات الزراعية. إن من المهم جداً استعمال وحدات متجانسة لكل متغيّر. وإذا كانت أجرة الاستئجار معطاة بالدولار للإيكر مثلاً، وجب أن تكون تكلفة التشغيل بالدولار للإيكر أيضاً. وفي هذه الحالة تكون وحدات الجواب إيكرًا في السنة.

الجدول 4.10 مزايا وعيوب استئجار تجهيزات زراعية.

المزايا	العيوب
1. لا توجد تكاليف اقتناء.	1. قد لا تكون متوافرة حين الحاجة إليها.
2. يمكن استثمار ثمن التجهيزات في مشاريع أخرى.	2. رقابة أقل على جودة العمل.
3. تتراقد التجهيزات المستأجرة عادة بيد عاملة.	3. ازدياد احتمال الخسارة بسبب التأخير.
4. يحتاج المالك إلى تجهيزات أقل، خاصة التخصصية منها.	4. ازدياد احتمال انتشار بذور الطفيليات والأمراض.
5. يمكن المالك أن يستفيد من أحدث الآلات والتقنيات.	5. يمكن لتكاليف الأعمال الكبيرة أن تكون أعلى من تكاليف اقتناء الآلات.
6. يمكن المنتجين الصغار أن يستفيدوا من الآلات الكبيرة.	6. ثمة احتمال كبير لتأجيل الأعمال الصغيرة.
7. عمال الآلات المستأجرة مسؤولون عن إصلاح وصيانة ومواد آلاتهم.	7. قد لا يتمكن المنتج من استعمال جهوده الفائضة الناجمة عن الاستئجار.

مسألة: ما مقدار نقطة توازن الربح والخسارة مقدرةً بالإيكر لآلة سعرها يساوي 20,000 دولار إذا كانت النسبة المئوية للتكاليف الثابتة تساوي 22%، وكانت تكاليف التشغيل تُقدَّر بـ 9.00 دولارات في الساعة، وكانت أجرة الاستئجار تساوي 9.60 دولارات للإيكر؟

الحل:

$$BEU(ac) = \frac{AOC}{CR - OPC} = \frac{\$20,000 \times 0.22}{9.60 \frac{\$}{ac} - 9.00 \frac{\$}{hr}}$$

لم تُستكمل الحسابات حتى نهايتها لأن الوحدات غير صحيحة. يجب أن تكون وحدتا أجرة الاستئجار وتكاليف التشغيل متماثلة كي يمكن إجراء عملية الطرح. لكن عندما تكون نقطة توازن الربح والخسارة مقدرة بالايكر، يجب أن تُقدّر أجرة الاستئجار وتكلفة التشغيل بالدولار للايكر. لذا يجب تحويل الدولار في الساعة إلى دولار للايكر:

$$\frac{\$}{ac} = \frac{\$}{hr} \times \frac{hr}{ac}$$

إن استعمال الايكر في الساعة، التي تعبّر عن مقدرة الآلة، أكثر شيوعاً من استعمال الساعة للايكر. افترض الآن أن مقدرة الآلة الفعلية تساوي 2.50 ايكرين في الساعة:

$$\begin{aligned} BEU(ac) &= \frac{AOC}{CR - OPC} = \frac{\$20,000 \times 0.22}{9.60 \frac{\$}{ac} - 9.00 \frac{\$}{hr}} \\ &= \frac{\$20,000 \times 0.22}{9.60 \frac{\$}{ac} - \left(9.00 \frac{\$}{hr} \times \frac{1 hr}{2.50 ac}\right)} \\ &= 733.33 \dots \text{or } 730 ac \end{aligned}$$

8.10 برامج الصيانة

الصيانة هي الرعاية التي تُقدّم إلى الآلة لضمان عملها على نحو صحيح، وضمان أنها تحصل على التشحيم والضبط المطلوبين. إن كل الآلات تحتاج

إلى صيانة، وعدم توفير الصيانة الملائمة للآلة يمكن أن يُقصر عمرها ويُزيد من تكاليف تشغيلها. ويُحدّد المصنّعون مقادير الموارد التي تحتاج إليها الآلة للحفاظ على عملها. وعلى مالك أو مشغل الآلة ضمان إجراء الصيانة في الأوقات المحددة بناء على توصيات المصنّع الواردة في دليل المستعمل. ويجب اتباع برنامج الصيانة بحرفيته كي تصل الآلة إلى تحقيق الأداء المطلوب، وإلى العمر المصمم لها.

9.10 مسائل بالوحدات المترية

إن عملية تقدير التكاليف هي نفسها في كل من منظمتي الوحدات المترية والوحدات العادية الأميركية. وحين تقدير التكاليف في حالة الوحدات المترية، استعمل التكلفة المناسبة. ويوفّر الملحق 5 المتوسطات اللازمة لحساب قوة الجر باستعمال معادلة ASABE. وفي ما يلي مثال تُستعمل فيه وحدات مترية.

مسألة: يُستعمل محراث ذو سكك عرض الواحدة منها 5 سننيمترات في العزق الرئيسي لحقل قمح. ويساوي عمق ثلم العزق 15 سننيمتراً. ويساوي عرض مجموعة سكك العزق 13.7 متراً، ويساوي التباعد بين سيقان السكك 0.3 متر. وتساوي سرعة المحراث 10 كيلومترات في الساعة. والتربة ذات بنية رملية (متوسطة الخشونة). ما مقدار استطاعة قضيب الجر اللازمة لجر العزّاقة؟

الحل: من الملحق 5:

$$F_2 = 0.7$$

$$C_1 = 91$$

$$C_2 = 5.4$$

$$C_3 = 0$$

عدد السكك يساوي العرض الكلي ÷ التباعد بين سكتين:

$$w = \frac{13.7 \text{ m}}{0.3 \text{ m}} = 45.666 \dots \text{ or } 45 \text{ tool}$$

وتساوي قوة الجر مقدرة بالنيوتن:

$$D_F = F_i \times [C_1 + (C_2 \times V) + (C_3 \times V^2)] \times w \times T_d$$

$$\begin{aligned} &= 0.7 \times [91 + (5.4 \times 10) + (0 \times 10^2)] \times 45 \times 15 \\ &= 68,512.5 \text{ or } 68,000 \text{ N} \end{aligned}$$

وتساوي استطاعة قضيب الجر:

$$\begin{aligned} P_{\text{DbkW}} &= \frac{F \times V}{60,000} \\ &= \frac{68,000 \text{ N} \times 10 \frac{\text{km}}{\text{hr}}}{60,000} = 11.333 \dots \text{ or } 11 \text{ kW} \end{aligned}$$

يحتاج المحراث إلى جرّار لا تقل استطاعته عن 11 كيلو واط.

11.

الصوت والضجيج

1.11 الأهداف

1. فهم طبيعة الصوت وأساس قياس الصوت ومفهوم الديسيبل.
2. التمكن من مقارنة أصوات البيئة المحيطة المختلفة.
3. فهم كيفية تأثر البشر بالأصوات.
4. تعرّف على معايير التعرّض للضجيج والحماية من شدته المفرطة.

2.11 تقديم

يعيش الناس في عالم من الأصوات، وكثير من تلك الأصوات ممتع، ويستمتع الأشخاص غير المصابين بعاهاات سمعية بسماع الموسيقى وغيرها من الأصوات الطبيعية. وغالباً ما يستمع الناس إلى أصوات تحذّر من الأخطار أو تُنذّر بتعطّل التجهيزات. ويتّصف الأفراد بقدرات مختلفة على كشف الأصوات ذات الشدّات والترددات المختلفة، ويختلفون أيضاً بتحمّلهم للأصوات وتمييزهم لها.

وتوصف الأصوات الخشنة وغير المريحة (وغير الصحية) عموماً بأنها ضجيج. وفي السنوات الأخيرة، جرى إيلاء موضوع الضجيج اهتماماً كبيراً، خاصة من حيث تأثيره السيئ في صحة الناس وسلوكهم. وقد وضعت الحكومة الاتحادية الأميركية، من خلال إدارة الصحة والسلامة المهنية (Occupational Safety and Health Administration)، حدوداً

للتعرض المفرط للضجيج لدرء طرش العمال وإصابتهم بالاكتئاب بسببه. لكن لا يوجد لدى إدارة الصحة والسلامة المهنية عدد كاف من المفتشين لضمان أن بيانات العمل تتوافق مع تلك المعايير. ويعود إلى الأفراد أنفسهم أن يفهموا طبيعة الأصوات والضجيج بحيث يستطيعون تمييز البيانات غير الصحية التي يمكن أن تتكوّن بسبب الأصوات غير المرغوب فيها.

3.11 ماهية الصوت

ينجم الصوت الذي يسمعه الناس عن اهتزازات تحصل في الهواء أو في المواد وتنتقل إلى الأعضاء السمعية. وما نشعر به على أنه صوت ليس سوى أمواج ضغط صوتية تسير في الهواء (أو في غيره من المواد) وتؤثر في طبلة الأذن بعد دخولها دهليزها أو من خلال عبورها لجسم الإنسان. وتستجيب طبلة الأذن إلى "ضغط الصوت". وثمة فرق كبير جداً جداً في ضغط الصوت (يصل حتى 10 ملايين مرة) بين ما يسمى "عتبة السمع" (وهي أدنى شدة للصوت يمكن للإنسان العادي كشفها وسماعها) وضغط الصوت الذي يولّده محرك نفاث كبير يعمل في الجوار. ويمكن للناس استشعار الصوت حينما يلمسون أشياء مهتزة حيث تنتقل الاهتزازات عبر أجسامهم إلى طبلة الأذن.

وتستجيب آلية السمع أيضاً إلى الترددات الصوتية (أو النغمات)، أي عدد الاهتزازات التي تحصل في الثانية، أو الهرتز Hz. ويمتد حيز الترددات الصوتية التي يمكن للبشر سماعها من نحو 20 هرتز حتى 20,000 هرتز، ويختلف هذا الحيز من شخص إلى آخر. ومع ازدياد شدة الصوت حتى مستوى عال عند تردد معين، يصبح الإحساس السمعي مؤلماً، ويكون المستمع حينئذ قد بلغ "عتبة الألم".

ويمكن لحاسة السمع عند البشر أيضاً أن تميّز بين الأصوات ذات درجات الجودة المتنوعة، أي تلك المركّبة من ترددات وشدات متنوّعة وتمثّل أزيزاً وصريراً وقرقعة وطققة وغيرها. وعندما تتركّب الترددات والشدات وفقاً لنسب معينة، تنتج أصواتٌ ملفوظة أو موسيقية ممتعة. والأصوات التي تُسمع يمكن أن تكون شديدة التعقيد، ومع ذلك فإن تأثيرها في البشر أصبح مفهوماً تماماً.

ويقتصر اهتمامنا في هذا الفصل على ذلك الجزء من الصوت الذي يسمى ضجيجاً، وعلى كيفية تأثيره في العمال وفي عملهم. فعموماً، يمكن للضجيج المفرط أن يؤدي إلى إížاء آلية السمع، وإلى التعب والإزعاج وتدني الأداء. ويمكن للضجيج أيضاً أن يكون إنذاراً يدل على تعطلّ التجهيزات أو إشارة إلى الحاجة إلى الصيانة. ونحن غالباً ما نعتمد على الأصوات (أو على غيابها) لمعرفة إن كان أداء التجهيزات مرضياً.

4.11 قياس الصوت

تُقَدَّر شدة الصوت بوحدة الديسيبل db. والديسيبل هو وحدة نسبة أيّ مقدارين لهما الوحدة نفسها، من شدة صوت أو استطاعة أو ضغط..إلخ. وتستطيع الأذن البشرية تمييز مجال واسع من شدات الصوت وتردداته. وتساوي نسبة العتبة الدنيا لمجال شدة الصوت الذي يمكن للأذن البشرية أن تميّزه، أي عتبة السمع، إلى عتبة الشدة التي تؤذي الأذن، أكثر من مليون. ونظراً إلى أن سلم الديسيبل هو تعبير عن نسبة، ولقياس شدة منبع صوتي منفرد، تُستعمل قيمة مرجعية تسمى المرشح. وثمة ثلاثة مرشحات قياسية من هذا النوع يُرمز لها بـ A و B و C. والمرشح A أقل حساسية للترددات المنخفضة جداً والعالية جداً.

ويُستعمل المرشح C للترددات العالية عموماً. ويقع المرشح B بين المرشحين A و C، وهو نادر الاستعمال. وعند استعمال مقياس الصوت، من الضروري تحديد المرشح المستعمل في عملية القياس. ويتحقق ذلك عادة باستعمال الوحدة dBA أو dBC بعد العدد الدال على نتيجة القياس.

ولتبسيط عملية قياس الصوت، تعطى نتيجة القياس المقدرة بالديسيبل على سلم أسّي لمستويات ضغط الصوت. لاحظ أن الديسيبل ليس وحدة مطلقة لضغط الصوت، بل هو تعبير عن نسبة ضغط الصوت المقاس إلى ضغط صوت مرجعي. ونظراً إلى أن سلم ضغط الصوت هذا أسّي أيضاً، فإن الصوت الذي يساوي ضغطه 10 ديسيبل يكون أقوى بعشر مرات من الصوت الذي يساوي ضغطه 0 ديسيبل، والصوت الذي يساوي ضغطه 20 ديسيبل يكون أقوى بمئة مرة من الصوت الذي يساوي ضغطه 0 ديسيبل. أي إن الفرق الذي يساوي 10 ديسيبل في ضغط الصوت يكافئ تغيراً في قوته مقداره عشر مرات، والفرق الذي يساوي 20 ديسيبل يكافئ تغيراً بمقدار مئة مرة، والفرق الذي يساوي 30 ديسيبل يكافئ تغيراً بمقدار 1000 مرة... إلخ.

والجهاز الأساسي لقياس شدة الصوت المستمر هو مقياس مستوى الصوت. وهو يتألف من ميكروفون لالتقاط الصوت، ومضخم وشبكة أو أكثر لوزن الترددات، ومقياس لإظهار مستوى الصوت. وغالباً ما تكون مقاييس مستوى الصوت وحدات مستقلة (تحتوي على بطاريات داخلية لتشغيلها) وصغيرة بحيث يمكن حملها باليد، مع أنه يُفضل تثبيتها على حامل ثلاثي القوائم.

يشتمل الاستعمال الصحيح لمقياس مستوى الصوت التوضيع الجيد للميكروفون بالنسبة إلى منبع الصوت، وذلك لدرا الانعكاسات التي تؤثر في نتيجة القياس. وحين قياس مستوى الضجيج الذي يتعرض له الشخص (أو بيئة

عمله)، يوضع الميكروفون أقرب ما يمكن إلى أذنه (أو إلى المكان الذي تكون فيه الأذن في موقع العمل). وقبل الاستعمال، تجب معايرة الجهاز استناداً إلى مصدر صوتي مستقر معروف.

5.11 مقارنة الأصوات المختلفة

يتضمن الجدول 1.11 بعض الأصوات ومستويات الشدة التقريبية المقترنة بها. ويمكن لهذا الجدول أن يساعدك على تحديد الأصوات التي تصادفك عادة وتصنيفها، وإذا كانت مزعجة أو ضارة بالصحة، يمكنك تجنبها أو حماية نفسك من مفاعيلها السيئة. لاحظ أن القيم المعطاة في الجدول هي قيم وسطى. ولاحظ أيضاً أن أصواتاً متماثلة (تقريباً) يمكن أن تأتي من آلات مختلفة. يُضاف إلى ذلك أن الأفراد يمكن أن يختلفوا في تحملهم وتصنيفهم للأصوات وأنواع الضجيج المختلفة. وفي حالات معينة، حين تحديد إن كانت مستويات الضجيج مقبولة وفقاً للمقاييس القائمة، يجب استعمال المعادلات المعطاة في المقطع 7.11.

الجدول 1.11 مستويات أصوات شائعة مقدّرة بالديسيبل.

شدة الصوت (ديسيبل)	نوع الصوت
188	بالقرب من منصة إطلاق المركبة الفضائية أبولو
150	على بعد 10 أقدام من محرك نفاث
140 عتبة الألم	
130	صفارة الإنذار
125	منشار سلسلة

120	عتبة عدم الراحة	رعد قوي
115	شدة الصوت العظمى	
	المسموح بها في القوانين الاتحادية	
	الأميركية	
110		موسيقى صاخبة جداً
105		دراجة نارية أو جزّارة عشب
100	صوت عال جداً	مطرقة تعمل بالهواء المضغوط
90		قمرة طائرة خفيفة، شاحنة ثقيلة
85		حركة مرور متوسطة
80		مخرطة، فارزة، غناء بصوت عال
75		مكنسة تخلية كهربائية، جلالية صحن
70		مذياع ذو صوت متوسط، ضجيج مطعم
65	مزعج	
60		كلام عادي، مكيف هواء
50		حركة مرور خفيفة، مكتب عادي
40		مكتبة، مكتب هادئ
30		غرفة هادئة في المنزل، همس مسموع
20		ساعة كهربائية، همس ضعيف
10	حافة الكشف	خفيف الأوراق
0	عتبة السمع	

6.11 تأثير الضجيج

وفقاً لما اقترح سابقاً، يمكن أن تكون للضجيج مفاعيل نفسية ووظيفية جسدية. فمن الناحية النفسية، يؤثر الضجيج الشديد في أداء العامل وراحته. والتعرض المباشر للضجيج المفرط يمكن أن يؤدي إلى التعب وفقدان التركيز

والإزعاج والتداخل مع التواصل وتقليص وظائف الذاكرة وإغلاق الراحة والاسترخاء. وينتج عن بعض أو كل هذه المفاعيل انخفاض الأداء في مكان العمل.

أما المفعول الوظيفي الجسدي الرئيسي للضحيج الشديد فهو الطرش الناجم عن الضحيج، وهو أذية غير قابلة للشفاء لعضو أو أكثر من آلية السمع. ويمكن لمستويات الصوت العالية أيضاً أن تستحث استجابات في أجزاء أخرى من الجسم، ومن أمثلة ذلك إضعاف الدورة الدموية، وتغيّر في مقاومة الجلد للتيار الكهربائي وما يرافقه من تهيج للمنظومة العصبية، وازدياد التوتر العضلي وتغيّرات في أنماط التنفس واضطراب في النوم. وتُعتبر هذه الأعراض التي لا صلة لها بآلية السمع قابلة للزوال بزوال مصدر الضحيج.

لا تظهر جميع أنواع الضحيج السيئ في مكان العمل. فنحن محاطون بمولّدات أصوات، من مثل التجهيزات والأدوات التي تُستعمل في الداخل والخارج (جرّازات العشب، والمناشير ذات السلاسل، والمغاسل والخلاطات وغسالات الملابس وغيرها)، وتجهيزات التسلية وممارسة الهوايات (نماذج طائرات وسيارات تعمل بالغاز، وسيارات سباق وقوارب ذات محركات من دون كواتم صوت، وألعاب نارية ومتفجرة، ومضخمات موسيقا عالية الاستطاعة، ودراجات آلية، وزلاجات على الثلج، وطائرات تسلية وغيرها). وكثير من تلك الأشياء يولّد أصواتاً غير عادية عالية الشدة، لكن عندما تكون منغمساً في الاستمتاع بها، فنادرًا ما تهتم بالضحيج الذي تولّده وبإمكان تسببها لأذية لحاسة السمع لديك.

7.11 حدود التعرض للضجيج

يجب أن نعرف جيداً بيئتنا الصوتية وأن نعرف الحدود المقبولة للتعرض للضجيج واتخاذ الإجراءات الضرورية لتجنب التعرض المفرط ومفاعيله النفسية والوظيفية الجسدية السيئة. إن معايير إدارة الصحة والسلامة المهنية تتطلب من مؤسسات الأعمال أن تحسب مستويات تعرض مستخدميها للضجيج. ويمكن قياس التعرض للضجيج بواسطة مقياس ديسيبل صوتي. وسوف نشرح في ما يلي الطريقة الموصى بها لاستعمال ذلك المقياس. يُجرى القياس باتباع القاعدتين التاليتين:

1. عندما يكون مستوى الصوت L^1 ثابتاً طوال نوبة العمل، تعطى النسبة المئوية لجرعة الضجيج التي يتعرض لها الشخص بالعلاقة:

$$D = 100 \times \frac{C}{T}$$

حيث D هي النسبة المئوية لمستوى الجرعة، و C طول يوم العمل الكلي مقدراً بالساعة، و T هي المدة المرجعية الموافقة لمستوى الصوت المقاس L (يمكن تحديد L بواسطة جدول أو معادلة).

2. وعندما يتألف التعرض للضجيج من مدد مختلفة في أثناء يوم العمل تكون فيها للضجيج شدة مختلفة، تعطى الجرعة في يوم العمل ذاك بالمعادلة التالية:

$$D = 100 \times \left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right)$$

¹ OSHA 1910.95 App A, Noise exposure computation.

حيث C_i هي المدة الكلية للتعرض للضجيج عند مستوى معين، و T_i هي المدة المرجعية الموافقة لمستوى الصوت المقاس وفق المعطى في الجدول 2.11 أو بالمعادلة.

تحدّد المعادلة الأولى النسبة المئوية للجرعة التي يتلقاها العامل. والجرعة التي تساوي 100% هي الجرعة العظمى المسموح بها. ويُحسب مستوى المدة المرجعي T بالمعادلة التالية:

$$T = \frac{8}{2^{((L-90)/5)}}$$

حيث T هي المدة المرجعية، و L هو مستوى التعرّض للضجيج مقدراً بـ dBA.

مسألة: حدّد جرعة الصوت التي يتلقاها شخص حين تعرّضه لصوت شدته تساوي 55 dBA مدة 1.25 ساعة، ولصوت شدته 105 dBA مدة 5.0 دقيقة.

الحل: تنص المعادلة على مدتين مرجعيتين مختلفتين، واحدة لكل مستوى للصوت ومدة التعرّض. لذا نحدّد أولاً قيمة T لكل مستوى ومدة تعرّض:

$$T_1 = \frac{8}{2^{((L-90)/5)}} = \frac{8}{2^{((55-90)/5)}} = \frac{8}{2^{-7}} = \frac{8}{0.0078125} = 1,024 \text{ or } 1,000$$

$$T_2 = \frac{8}{2^{((L-90)/5)}} = \frac{8}{2^{((105-90)/5)}} = \frac{8}{2^3} = \frac{8}{8} = 1$$

وباستعمال معادلة الجرعة نحسب الجرعة الكلية :

$$\begin{aligned}
 D &= 100 \times \left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} \right) \\
 &= 100 \times \left(\frac{1.25}{1,000} + \frac{5 \times \frac{1}{60}}{1} \right) \\
 &= 100 \times (0.00125 + 0.0833) = 8.458 \dots \text{ or } 8.5\%
 \end{aligned}$$

تساوي الجرعة التي يتلقاها العامل 8.5%، وهي جرعة أصغر كثيراً من الجرعة العظمى 100% المسموح بها.

8.11 إرشادات بخصوص التعرض للضجيج

يتطلب قانون الصحة والسلامة المهنية من أرباب العمل إجراء قياسات صوتية دقيقة في أماكن عملهم لتحديد إن كانت آمنة للعاملين عندهم. يجب ألا يزيد مستوى الصوت على 90 ديسيبل خلال نوبة عمل مدتها 8 ساعات. وعندما يكون مستوى الصوت أعلى من 90 ديسيبل، يجب تقليص مدة التعرض بحيث لا تزيد على 15 دقيقة في اليوم عند مستوى للصوت يساوي 115 ديسيبل. وثمة جانب آخر من القانون ينص على أن الضجيج النبضي [الفجائي] أو الصدمي يجب ألا يتجاوز 140 ديسيبل. يُضاف إلى ذلك ضرورة تخميد الضجيج في مناطق العمل ذات الضجيج المفرط. وإذا اعتبر مكان عمل مفرطاً في الضجيج، يجب تزويد العمال بتجهيزات أمان وإلزامهم استعمالها.

والى جانب تشريعات إدارة الصحة والسلامة المهنية والنواظم المتضمنة في القانون الاتحادي الأمريكي للحد من الضجيج (الذي تُشرف عليه وكالة الحماية البيئية الأمريكية)، تُشرف وكالات اتحادية عدة على الحد من الضجيج ذي الصلة بصناعات، مثل الطيران، والبناء المنزلي والتجاري، وجميع أنواع

المواصلات الأرضية، والمناجم. ويمكن العثور على مراجع عن هذه التشريعات في مجلدات القوانين الاتحادية الأميركية التي تعالج موضوع الحد من الضجيج.

9.11 الحد من الضجيج

إذا تبين وجود ضجيج مفرط أو غير مقبول أو ضار بالصحة في أي بيئة، وجب اتخاذ إجراءات لإزالته أو تخفيفه (من خلال تغييرات في التصميم أو استعمال مواد ماصة للصوت)، وإذا كان ذلك غير ممكن، وجب توفير تجهيزات وقاية للأفراد من مثل سدادات الأذان وكواتم الصوت والخوذ المصممة لهذا الغرض. ولتحقيق ذلك يمكن استعمال الجدول 2.11 مُرشداً يمكن تحديد حالات الضجيج المفرط وتجنبها.

الجدول 2.11 مستويات الضجيج القصوى المسموح بالتعرض لها في مكان العمل في مقابل مدة التعرض اليومية*.

مدة التعرض (ساعة في اليوم)	مستوى الصوت (dBA)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110
0.25	115
0.125	120

125	0.063
130	0.031

* التوصية (b)(2) 1910.95 من القوانين الاتحادية الأميركية CFR.

10.11 مواضيع للمناقشة

1. في أنشطتك اليومية، حدّد الأمكنة التي ترى أن الأصوات (الضجيج) فيها مفرطة.
2. في ما يخص الأمكنة التي تعتبر أن الضجيج مفرط فيها، قدّر المدة التي تريد أن تقضيها في كل منها.
3. فيما يخص الأمكنة التي تعتبر أن الضجيج مفرط فيها، صِف التغييرات التي يمكن أن تجربها لتخفيض مستوى الضجيج.
4. ثمة أمكنة ترغب في أن تذهب إليها، وترى أن ثمة ضجيجاً مفرطاً فيها، ولا تستطيع خفض مستواه بطريقة فعالة. اشرح كيف يمكن لك أن تحمي نفسك في بيئة من هذا النوع.

11.11 مسائل بالوحدات المترية

استُقيت المعلومات السابقة من وثائق وكالة الصحة والسلامة المهنية الأميركية، ولا تتوافر فيها معلومات مكافئة مترية. لكنّ نظراً إلى أن جميع القياسات هنا هي نسب، تبقى القياسات هي نفسها في المنظومتين العادية والمترية. يُضاف إلى ذلك أنه توجد لدى الدول التي تستعمل المنظومة المترية تشريعات مشابهة للتشريعات الأميركية.

12.

قياس المسافة

1.12 الأهداف

1. فهم مزايا وعيوب ست طرائق شائعة في قياس المسافة.
2. التمكن من استعمال طرائق قياس المسافة الست الشائعة.
3. التمكن من معايرة أجهزة قياس المسافة.
4. التمكن من حساب عامل تصحيح للأخطاء المنهجية.

2.12 تقديم

يُعتبر قياس المسافات والزوايا بأدوات بسيطة من أكثر الأعمال المساحية شيوعاً في الزراعة. وبرغم أن تلك الأدوات بسيطة، فإنه يمكن تحقيق مستوى كاف من الدقة لكثير من الأغراض الزراعية، وذلك من خلال الممارسة والعمل المتأنّي. وفي هذا الفصل سوف نقدّم الطرائق والتقنيات الأساسية المستعملة في قياس المسافة. أما قياسات الزوايا فهي موضوع الفصل 13.

3.12 قياس المسافة

يمكن استعمال طرائق وأدوات عدة مختلفة لقياس المسافة. وطرائق وأدوات القياس الرئيسية هي:

1. الخطوة.
 2. عداد المسافة
 3. شريط القياس
 4. المنظار والمسطرة المساحية (القضيب المدرج)
 5. قانس المسافة البصري
 6. قانس المسافة الإلكتروني (الليزري)
- يكن أحد القرارات التي يجب اتخاذها حين التحضير لقياس مسافة هو اختيار طريقة أو جهاز القياس. وسوف نناقش في الفقرات التالية تلك الأدوات ونساعد المستعمل على اتخاذ القرار المناسب بشأنها.

أولاً، من المفيد مراجعة وحدات المسافة الشائعة. والوحدات الإنكليزية هي:

$$1 \text{ قدم} = 12 \text{ إنشاً}$$

$$1 \text{ ياردة} = 3 \text{ أقدام}$$

$$1 \text{ قضيب} = 16.5 \text{ قدماً} = 5.5 \text{ ياردات}$$

$$1 \text{ ميل} = 5280 \text{ قدماً} = 1760 \text{ ياردة} = 320 \text{ قضيباً}$$

وفي المنظومة المترية، الوحدات هي:

$$1 \text{ متر} = 1000 \text{ مليمتر}$$

$$1 \text{ كيلومتر} = 1000 \text{ متر}$$

وتعتبر طريقة حذف الوحدات مفيدة جداً للتحويل من منظومة وحدات إلى أخرى.

1.3.12 القياس بالخطوة

يُعتبر قياس المسافة بالخطوة أبسط وأسهل طرائق قياس المسافة. وتُجرى هذه العملية بالمشي وعد الخطوات اللازمة لقطع المسافة. وتتحدد المسافة بضرب عدد الخطوات الناتج بعامل خطو الشخص الذي يقوم بالقياس. ويتحدد عامل الخطو بالمشي مسافة معروفة، تساوي 300 أو 500 قدم عادة، مرات عدة، ومن ثمَّ تحديد طول الخطوة الوسطي. ومع الممارسة، من الممكن قياس المسافة بخطأ يقل عن 2 قدم في كل 100 قدم. ولتحقيق ذلك المستوى من الدقة، على الشخص أن يتعلم اعتماد خطوة قياس تختلف عن خطوة مشيه العادي، لأن كثيراً من العوامل يمكن أن تسبب اختلافات في طول خطوة الشخص، ومن تلك العوامل خشونة السطح الذي يحصل المشي عليه وميله ونوع النباتات المزروعة في الأرض. إن من الضروري ضمان أنه يجري استعمال عامل خطو متكرر واحد.

ومن مزايا قياس المسافة بالخطوة عدم الحاجة إلى أي تجهيزات تخصصية. أما عيبه الكبير فهو أنه يتطلب المقدرة على مشي الطريق المطلوب قياسها. وهو ليس مفيداً جداً في قياس المسافة فوق تضاريس خشنة أو عبر المستنقعات أو فوق أي تضاريس أخرى لا يستطيع الشخص المشي فوقها أو المشي على خط مستقيم فيها.

مسألة: مشى شخص مسافة 200.0 قدم ثلاث مرات كان عدد خطواته فيها 62 و 60 و 64 خطوة. ما مقدار عامل خطو الشخص PF؟

الحل: لتحديد عامل الخطو، قسّم المسافة المقاسة على عدد الخطوات.
يساوي عدد الخطوات الوسطي \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{62 + 60 + 63}{3} = 62$$

ويساوي عامل الخطو:

$$PF = \frac{200 \text{ ft}}{62 \text{ paces}} = 3.225 \dots \text{ or } 3.2 \frac{\text{ft}}{\text{pace}}$$

وبعد معرفة عامل الخطو، يمكن تحديد طول المسافة بعد الخطوات اللازمة لقطعها، ومن ثمّ ضرب عدد الخطوات بعامل الخطو.

مسألة: يساوي عامل خطو شخص 3.2 أقدام للخطوة، وقد قاس مسافة ووجد أنها تساوي 375 خطوة. ما مقدار المسافة المقاسة بالقدم؟

الحل: تساوي المسافة، مقدّرة بالقدم، جداء عدد الخطوات في عامل الخطو:

$$3.2 \frac{\text{ft}}{\text{pace}} \times 375 \text{ paces} = 1200 \text{ ft}$$

2.3.12 عداد المسافة

عداد المسافة هو أداة ميكانيكية تُعدّ الدورات. ويتألف العداد من دولاب وآلية نقل حركة تسجل المسافة المقطوعة. انظر الشكل 1.12.



الشكل 1.12 دولاب عداد المسافة.

يُعدُّ عَدَّاد المسافة الدورات التي يدورها الدولاب ويُظهر المسافة المقطوعة على مجموعة أقراص دوارة مرقمة. انظر الشكل 2.12. ويمكن تصميم الأقراص الدوارة بحيث تعطي المسافة مقدرة بالأقدام أو الإنشات أو الأمتار. ومبدأ العداد هو أن المسافة المقطوعة لدى درجة الدولاب على الأرض تساوي طول محيط الدولاب مضروباً بعدد الدورات، ولذا يمكن استعمال أي دولاب على أن يكون قطره معروفاً، وأن يجري عد دوراته.



الشكل 2.12 نتيجة قياس مسافة تساوي 1850 قدماً.

يُعتبر القياس بعداد المسافة أكثر دقة في قياس المسافة من القياس بالخطوات، شريطة استعماله استعمالاً سليماً. فالخطأ المتوقع في نتيجة القياس به يساوي نحو 1 قدم في كل 100 قدم. وكي يكون القياس دقيقاً، يجب أن يتدحرج الدولاب على الأرض من دون انزلاق. وتُري التجربة أن دقة عداد المسافة تتأثر أيضاً بالسطح وبالتضاريس. فعداد المسافة المصمم للاستعمال على سطح صلب لا يكون دقيقاً على الأعشاب والحشائش الطفيلية الطويلة. لكن في تلك الحالات، تتحسن الدقة إذا جرت معايرة الدولاب على السطح الذي سوف يُستعمل عليه. انظر أمثلة عن إجراءات المعايرة في المقطعين 4.12 و 5.12.

يجب تصفير النتيجة الظاهرة على الأقراص المرقمة في عداد المسافة قبل استعماله، وبعدئذ تُقرأ المسافة المقطوعة مباشرة. وإذا استُعمل دولاب آخر في العداد، فإن المسافة المقطوعة تساوي طول محيط الدولاب مضروباً بعدد الدورات التي يدورها في أثناء قياس المسافة:

$$D(\text{ft}) = \pi \times d \times N$$

حيث D هي المسافة المقاسة، و $\pi = 3.14$ ، و d هو قطر الدولاب، و N هو عدد الدورات.

مسألة: دار دولاب دراجة عادية 155.2 دورة حين سيرها على طول حدود حقل. ويساوي قطر الدولاب 2.16 قدمين. ما مقدار طول محيط الحقل؟
الحل:

$$D(\text{ft}) = \pi \times d \times N = 3.14 \times 2.16 \frac{\text{ft}}{\text{rev}} \times 155.2 \text{ rev} \\ = 1,052.628 \dots \text{ or } 1,050 \text{ ft}$$

إحدى مزايا قياس المسافة بالعداد ذي الدولاب، مقارنة بقياس المسافة بالخطوات زيادة الدقة، شريطة دحرجة دولاب العداد فوق السطح على خط مستقيم.

3.3.12 قياس المسافة بشريط القياس

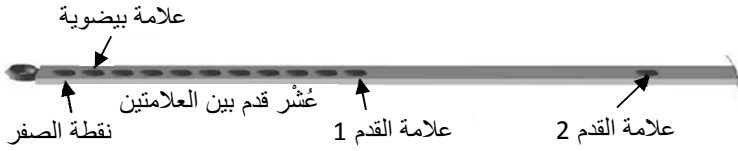
إن أكثر الوسائل الشائعة في قياس المسافة بدقة هو الشريط الفولاذي ذو التدرجات. وحين استعمال هذا الشريط استعمالاً سليماً، فإن خطأ قياس المسافة بواسطته يقل عن 1 قدم في كل 3000 قدم. وتتألف أدوات فريق القياس بالشريط، الذي يتكوّن من ثلاثة أشخاص على الأقل، من شريط مدرّج، وقضيبَيّ تعليم يوضعان في نهايتي المسافة التي يجري قياسها، ومجموعة مؤلفة من 11 وتد تعليم، وشاقولين، وميزان أفقية، ودفتر حقلي. وفي ما يلي وصف لهذه العناصر.

1.3.3.12 شريط القياس

إن الأداة الشائعة لقياس المسافة بدقة هي الشريط ذو التدرجات الفولاذي. وتُصنع اليوم شرائط قياس من مواد غير معدنية أيضاً. ويساوي طول الشريط المعياري الحديث اليوم 100 قدم، ويساوي عرضه $\frac{3}{8}$ إنش، ويزن نحو 2-3 ليبرة. والشرائط القديمة مدرّجة من 0 حتى 100 قدم بعلامات ببيضوية الشكل. لاحظ أن الشريط يكون غير مدرّج في ما بين القدم الأولى والثانية، وهذا تصميم شائع في شرائط المساحين.

أما في شرائط المساحة الحديثة، فعلامات التدرجات محفورة على سطح الشريط. والشرائط المستعملة لقياس الأطوال في الشوارع تحتوي على تدرجات كاملة، أما شرائط المساحة العادية فتحتوي على تدرجات جزئية لقدم واحدة من

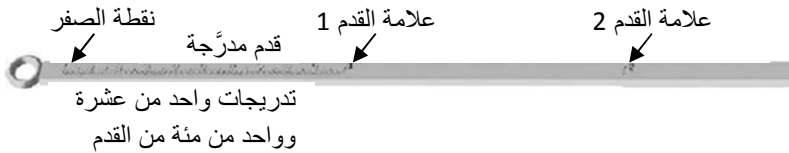
الشريط فقط. والتدرجات الجزئية تلك هي تدرجات واحد من عشرة أو واحد من مئة من القدم. ويمكن للقدم المدرجة أن تكون القدم الأولى، وفق المبيّن في الشكل 3.12، أو القدم الإضافية، وفقاً للمبيّن في الشكل 4.12. إن معرفة نوع الشريط المستعمل ضرورية، وإلا فإن من الممكن حصول خطأ حين قراءة شريط ذي قدم إضافية أو من دون قدم إضافية. تُصنع شرائط المساحة المعدنية من خلائط الفولاذ. ومن الضروري مسحها بقطعة قماشية نظيفة بعد كل استعمال وتزييتها قليلاً دورياً لحمايتها من الصدأ. وهذه الشرائط سهلة الكسر بالتثني أو الفتل الحاد.



الشكل 3.12 جزء من شريط ذي علامات بيضوية.



الشكل 4.12 شريط ذو قدم إضافية.



الشكل 5.12 جزء من شريط من دون قدم إضافي.

2.3.3.12 الشريط العادي

الشرائط العادية شائعة في القياسات الخشنة أو حينما لا تكون ثمة حاجة إلى الدقة. وهي تُصنع من مواد معدنية وغير معدنية، وتُدْرَج على نحو كامل وتختلف أطوالها بين 25 و 200 قدم.

والشرائط غير المعدنية أخف وزناً وأسهل استعمالاً عادة، وتتطلب صيانة أقل، ولا تتأثر كثيراً بالرطوبة. لكن الشرائط غير المعدنية الرخيصة يمكن أن تمتط بالشد، ولذا ليست دقيقة كالشرائط الفولاذية.

3.3.3.12 أوتاد التعليم

تُصنع أوتاد التعليم من قضبان ثقيلة طول الواحد منها يساوي 12-15 إنشاً، وتُدهن باللونين الأحمر والأبيض، وتوضع عليها أحياناً قطعاً قماشية بيضاء لتساعد على رؤيتها ضمن الأعشاب الطويلة. وتُستعمل لتعليم نقاط نهاية طول شريط القياس، وتتوافر في الأسواق عادة على شكل مجموعة مؤلفة من 11 وتبدأ. ويُستعمل وتد لتعليم نقط بداية المسافة التي يجري قياسها، وتُستعمل الأوتاد المتبقية لتعليم نقاط نهاية طول شريط القياس. وحين استعمال جميع الأوتاد الأحد عشر، وبافتراض أن طول شريط القياس يساوي 100 قدم، تساوي المسافة المقاسة بين الوتدين الأول والأخير 1000 قدم.

4.3.3.12 قضبان التعليم

قضيب التعليم هو عمود أنبوبي فولاذي أو غير معدني قطره يساوي 1 إنش ويختلف طوله بين 6 و 10 أقدام، وتكون إحدى نهايتيه مستدقة. ويُطلى

القضيب بالأحمر والأبيض بالتناوب، وتُستعمل قضبان التعليم لتعليم النقاط الصعبة الرؤية من بُعد وتحديد الاتجاه حين قياس الزوايا. انظر الشكل 6.12.



الشكل 6.12 قضيب تعليم.

5.3.3.12 الشاقول (المطمار)

يُستعمل الشاقول مع خيطه الذي يساوي طوله 6-10 أقدام في عملية قياس مسافات أفقية على أرض مائلة أو غير منتظمة، وذلك بغية نقل بداية ونهاية المسافة من شريط القياس الأفقي إلى نقطة في الأرض. ويُستعمل أيضاً مع ميزان الأفقية لتحديد نقطة المستوى الأفقي حين استعمال قانس المسافة ذي المنظار أو الإلكتروني. انظر الشكل 7.12.



الشكل 7.12 الشاقول.

6.3.3.12 ميزان الأفقية اليدوي

يتألف ميزان الأفقية اليدوي من منظار أنبوبي صغير يساوي طوله 5-6 إنشات ويحتوي على ميزان أفقية كحولي، وهو أنبوب زجاجي فيه سائل كحولي وفقاعة. وتنعكس صورة الفقاعة بواسطة موشور وتُمكن رؤيتها بالنظر عبر الأنبوب. ويوضع الجهاز على عين العامل وتُضبط أفقيته بتحريك نهايته إلى الأعلى والأسفل حتى يتقاطع الخطان المتصالبان مع الفقاعة. يتصف هذا الجهاز بانخفاض الدقة، وهو يُستعمل لإجراء قياسات خشنة للميل، وللمساعدة على تحقيق أفقية شريط قياس المسافة. ويمكن للنماذج التي هي أحدث أن تتضمن منظاراً وسلم قراءة مباشرة للزوايا. انظر الشكل 8.12.



الشكل 8.12 ميزان أفقية يدوي.

7.3.3.12 إجراءات قياس المسافة بشريط القياس

ثمة ست خطوات أساسية في عملية قياس المسافة بشريط القياس هي: (1) تحديد الاتجاه، (2) شد الشريط، (3) تحقيق الشاقولية، (4) وضع علامات عند نهايات مسافات تساوي طول شريط القياس، (5) قراءة المسافة على الشريط، (6) تسجيل قيمة المسافة.

في حقبة ما قبل الحاسوب والآلات الحاسبة وأتمتة القياس، كانت توصف المسافات بالمحطات. فمثلاً، تسمى المسافة 100 قدم محطة كاملة وتُكتب بالشكل 1 + 00 ft. وتُكتب المسافة 123 قدماً بالشكل 1 + 23 ft. أما في الطرائق الحديثة فتُسجل جميع المسافات بالصيغة العشرية للقدم.

إن القصد من كثير من الأعمال المساحية هو اكتشاف المسافة الأفقية الفعلية بين نقطتين. وتُستعمل لذلك ثلاث طرائق عموماً: (1) شريط القياس والشاقول، (2) شريط القياس والحساب، (3) قانس المسافة الإلكتروني. وحين استعمال الطريقة 2، يجب قياس النسبة المئوية للميل، أو تغيير الارتفاع، أو زاوية الارتفاع، ومنها يمكن حساب المسافة الأفقية. وحين استعمال قانس المسافة الإلكتروني (الليزري)، تكون المسافة أفقية إذا كان جهاز القياس أفقياً في لحظة القياس.

يُري الشكل 9.12 قياس المسافة الأفقية. فمثلاً، حين قياس المسافة على امتداد سطح الأرض، يمكن لها أن تساوي 26.1 قدماً، في حين أن المسافة الأفقية الفعلية تساوي 25.00 قدماً فقط.



الشكل 9.12 تأثير الميل في المسافة الأفقية.

حين قياس المسافة المائلة في الوقت الذي يكون المطلوب فيه هو قياس المسافة الأفقية، يجب قياس إما النسبة المئوية للميل أو فرق الارتفاع أو زواوية الارتفاع، ومن ثَمَّ حساب المسافة الأفقية أو تحديدها باستعمال الجداول. ويمكن قياس نسبة الميل المئوية بواسطة ميزان الأفقية اليدوي أو ميزان أفقية مساحي. وحين معرفة النسبة المئوية للميل يمكن تحديد المسافة الأفقية باستعمال معادلة الميل ونظرية فيثاغورس.

مسألة: حدّد المسافة الأفقية حينما تساوي المسافة المائلة 234.5 قدماً، وتساوي النسبة المئوية للميل 3.4%.

الحل: أولاً نحدّد مقدار التغيّر الأصل في الارتفاع. ويمكن فعل ذلك باستعمال معادلة الميل:

$$\frac{\text{تغيّر الارتفاع}}{\text{المسافة المائلة}} \times 100 = \text{الميل \%}$$

ومنها:

$$\text{تغيّر الارتفاع} = \text{الميل \%} \times \text{المسافة المائلة} \div 100$$

$$= \frac{3.4 \times 234.5 \text{ ft}}{100} = 7.973 \text{ ft}$$

وتُحدّد الآن المسافة الأفقية باستعمال نظرية فيثاغورس:

$$a^2 = b^2 + c^2$$

$$b^2 = a^2 - c^2$$

$$b = \sqrt{a^2 - c^2} = \sqrt{234.5^2 - 7.973^2}$$

$$= 234.36 \dots \text{or } 234.4 \text{ ft}$$

ويمكن استعمال الجدول 1.12 أيضاً لتحديد المسافة الأفقية لميول مختلفة تصل حتى 30%. لاحظ أنه عندما يكون الميل أصغر من 5% يكون عامل التصحيح أصغر من 0.125 قدم لكل مئة قدم (1.5 إنش لكل 100 قدم)، وتزداد قيمة عامل التصحيح بسرعة عندما يزداد الميل فوق 5%.

حين استعمال الجدول 1.12، يُضرب عامل التصحيح لكل 100 قدم بالمسافة المائلة ويُقسم الناتج على 100، ثم يُطرح من المسافة المائلة. إن من الضروري أن نتذكر أن عوامل التصحيح هي لمسافة مائلة تساوي 100 قدم. لذا يجب تقسيم المسافة المائلة المقاسة على 100 أولاً:

$$HD = SD - \left(\frac{SD}{100} \times CF \right)$$

حيث HD هي المسافة الأفقية، و SD هي المسافة المائلة، و CF هو عامل التصحيح.

مسألة: استعمال الجدول 1.12 لتحديد المسافة الأفقية HD عندما تساوي المسافة المائلة SD 623.82 قدماً ويساوي الميل 12.0%.

الحل:

$$HD = SD - \left(\frac{SD}{100} \times CF \right)$$

$$= 623.82 \text{ ft} - \left(\frac{623.82 \text{ ft}}{100} \times 0.723 \right)$$

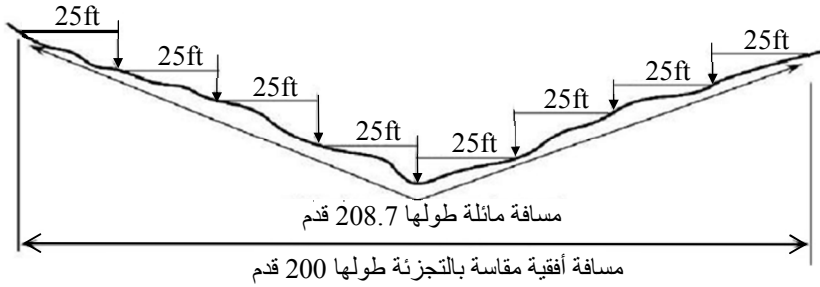
$$= 623.82 \text{ ft} - 4.5102186 = 619.309 \dots \text{ or } 619 \text{ ft}$$

وعندما لا يكون ميل الأرض منتظماً، يجب تحديد الميل والمسافة المائلة لكل مقطع من المسافة الكلية وتطبيق التصحيح على المقاطع كل مقطع على حدة.

الجدول 1.12 عوامل التصحيح لتحويل المسافة المائلة إلى مسافة أفقية.

الميل%	عامل التصحيح (ft/100ft)	المسافة الأفقية الفعلية (لكل 100 ft مسافة مائلة)
1	0.005	99.995
2	0.020	99.980
3	0.045	99.955
4	0.080	99.920
5	0.125	99.875
6	0.180	99.820
7	0.245	99.755
8	0.321	99.679
9	0.406	99.594
10	0.501	99.499
11	0.607	99.393
12	0.723	99.277
15	1.31	98.969
18	1.633	98.367
20	2.020	97.980
25	3.175	96.825
30	4.606	95.394

وحيث استعمال شريط القياس، توضع إحدى نهايتي الشريط على الأرض، وترفع الأخرى إلى أن يصبح الشريط أفقياً. وتُنقل المسافة الحقيقية إلى الأرض من نهاية الشريط المرفوعة بواسطة الشاقول. وعندما يكون الميل أكبر من 5%، من الضروري استعمال طريقة تسمى "التجزئة". في هذه الطريقة، يُمدُّ الشريط بكامله أفقياً، وتقسم المئة قدم إلى أجزاء ملائمة يساوي طول الواحد منها 25 أو 50 قدماً، وعند كل بداية جزء، تُسقط تلك البداية على الأرض بواسطة الشاقول. يُرى الشكل 10.12 هذه العملية، وفيه جرت تجزئة المسافة إلى مقاطع طول كل منها يساوي 25 قدماً، وغُرِز وتد في الأرض مقابل بداية كل مقطع.



الشكل 10.12 قياس مسافة مائلة بالتجزئة.

وبغية الحصول على نتائج دقيقة، يجب تحضير عملية القياس بالشريط وتنفيذها بعناية فائقة. ويوصى باتباع الإجراءات التالية لضمان نتائج دقيقة. يتألف فريق قياس المسافة من ثلاثة أشخاص على الأقل: شخص المقدمة، وشخص المؤخرة، وشخص يُسجل نتائج القياس. وقد يكون من الضروري وجود

عامل مع فأس في المناطق الكثيفة الشجيرات. وتعمل الأوتاد الأحد عشر بوصفها علامات مؤقتة لكل مقطع وتساعد على عد المقاطع التي يجري قياسها.

يبدأ شخص المقدمة بوضع وتد في نقطة البداية وينطلق حاملاً مقدمة الشريط الذي يساوي طوله 100 قدم. وبعد قياس مقطع كامل، يغرز وتدًا في الأرض للدلالة على نهاية المقطع الأول. هنا يكون قد تبقى معه 9 أوتاد. وفي كل مرة يُنقل فيها الشريط إلى المقطع التالي، ينزع شخص المؤخرة وتد تعليم مسافات الـ 100 قدم، دون أن ينزع وتد بداية المسافة التي يجري قياسها. وبعد مقطعين، يكون شخص المقدمة قد غرز ثلاثة أوتاد وتبقى لديه 8 أوتاد، ويكون في يد شخص المؤخرة وتد، وآخر في الأرض. فإذا اتبعت هذه الطريقة بحذافيرها، يكون عدد المقاطع التي قيست مساوياً لعدد الأوتاد التي يحملها شخص المؤخرة.

ووفقاً لما ذكرناه سابقاً، فإن معظم شرائط المساحة تُدرج بالأقدام على كامل طولها، ويُدرج القدم الأول و/أو الأخير بأجزاء تساوي 1 من عشرة أو من مئة من القدم. فثمة حاجة إلى قياس مسافة أقصر من طول كامل للشريط. عندما يقترب فريق العمل من نهاية المسافة التي يجري قياسها وتكون المسافة المتبقية أصغر من 100 قدم، يضع شخص المؤخرة علامة صفر الشريط على الودد الأخير ويشد شخص المقدمة الشريط. ثم يحرك شخص المقدمة الشريط بحيث تقع علامة قدم عند نهاية المسافة، وذلك إلى الأمام إذا كان الشريط ذا قدم إضافي أو إلى الخلف إذا كان من دون قدم إضافي. ويقرأ الشخصان ما يشير إليه الشريط، وتُطرح القيمة التي يقرأها شخص المؤخرة من القيمة التي يقرأها شخص المقدمة إذا كان الشريط من دون قدم إضافي، وتُضاف في حالة

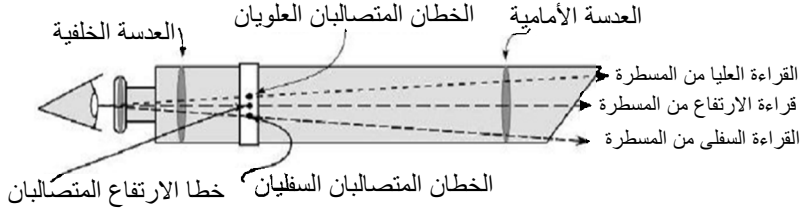
استعمال شريط ذي قدم إضافي. فمثلاً، افترض استعمال شريط ذي قدم إضافي، وأن شخص المقدمة قرأ 53 قدماً، وأن شخص المؤخرة قرأ 0.21 قدم، وأن لدى شخص المؤخرة 6 أوتاد. حينئذ تساوي المسافة المقاسة 653.21 قدم $((6 \times 100 + 53) \text{ ft} + 0.21 \text{ ft})$. وإذا كان الشريط من دون قدم إضافي، كانت المسافة 652.79 قدم $((6 \times 100 + 53) \text{ ft} - 0.21 \text{ ft})$.

يضمن اتباع القواعد التالية بعناية دقة القياس بالشريط:

1. وجّه الشريط على نحو جيد باتجاه خط المسافة التي يجري قياسها.
2. شد الشريط على نحو متجانس بقوة تساوي 15 لبيرة في كل عملية قياس.
3. تذكر نوع الشريط المستعمل لتجنب حصول خطأ بمقدار 1 أو 2 قدمين عند كل نهاية من الشريط.
4. جزّئ عملية القياس على المنحدرات للحفاظ على أفقية المسافة المقاسة، أو احسب النسبة المئوية للميل إذا كنت تقيس المسافة الأرضية مباشرة.
5. ضع علامة عند نهاية كل مقطع وقم بعد المقاطع بعناية.

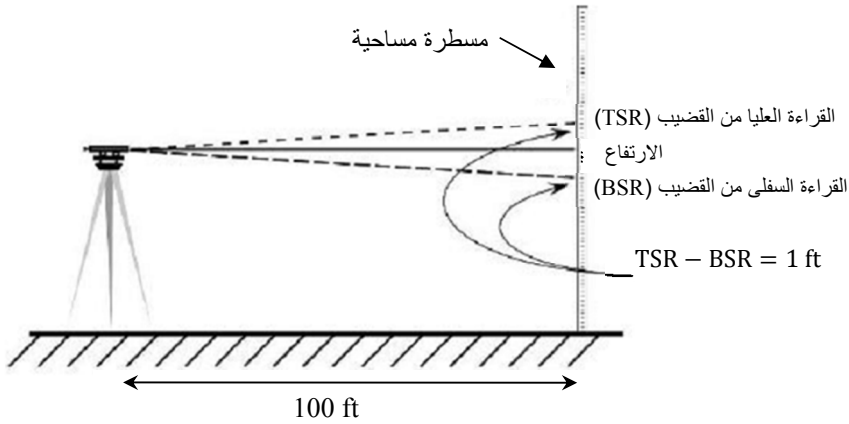
4.3.12 المنظار والمسطرة المساحية

يعتمد قياس المسافة بالمنظار على وجود زاوية ثابتة ضمن الجهاز. يحتوي منظار المساحة على مجموعتين كل منهما تتألف من خطين متصاليين متوضعين على مسافتين متساويتين فوق وتحت خطي الوسط المتصاليين. انظر الشكل 11.12.



الشكل 11.12 مبدأ قياس المسافة بالمنظار.

تُثبت المسافة بين كل من مجموعتي الخطين المتصالبين العليا والسفلى وخط الارتفاع الأفقي من قبل مصنع المنظار بحيث تحققان عامل قياس مسافة SIF ثابت للمنظار. وأكثر العوامل شيوعاً في مناظير قياس المسافة يساوي 100. وفي هذه الحالة، تساوي المسافة المقروءة على المسطرة بين مجموعتي الخطين العلوية والسفلية 1 قدم عندما تكون المسطرة على بعد مئة قدم من المنظار. انظر الشكل 12.12.

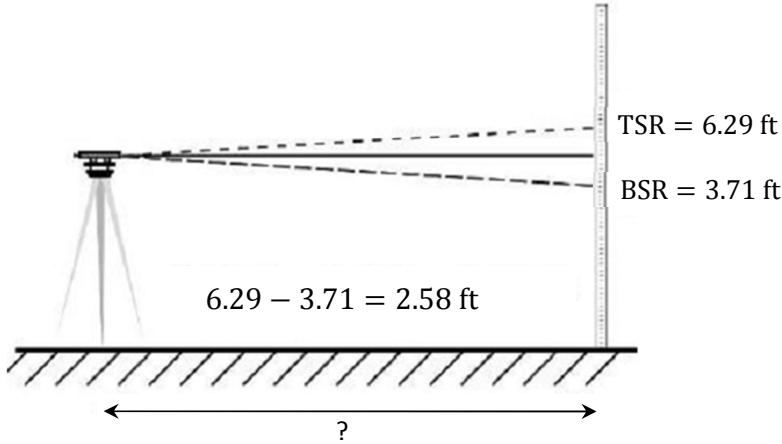


الشكل 12.12 قياس المسافة بالمنظار والمسطرة المساحية.

إن الزاوية المتكوّنة بين الخطين الممتدين من المنظار إلى القراءتين العليا والسفلى على المسطرة ثابتة، ولذا فإن وحدة القياس تتحدّد بوحدة القياس على المسطرة. فحين استعمال مسطرة مدرجة بالأقدام، تقدّر المسافة المقاسة بالأقدام، وحين استعمال مسطرة مترية، تقدّر المسافة المقاسة بالأمتار. وحين استعمال المنظار والمسطرة المساحية لقياس المسافة، يرى الشخص الذي ينظر من خلال المنظار القراءة العليا من المسطرة (TSR) والقراءة السفلى من المسطرة (BSR)، ويضرب الفرق بينهما بعامل المسافة. وبصيغة المعادلة:

$$D(ft) = (TSR - BSR) \times 100$$

انظر الشكل 13.12. تساوي القراءة العليا 6.29، وتساوي القراءة السفلى 3.71. لذا تساوي المسافة المرئية على المسطرة $6.29 - 3.71 = 2.58$ ft، وتساوي المسافة بين المنظار والمسطرة $2.58 \times 100 = 258$ ft.



الشكل 13.12 مثال لاستعمال المنظار والقضيب المساحية.

مسألة: ما مقدار المسافة بين المنظار والمسطرة عندما تكون القراءة اعلى $TSR = 6.07$ وتكون القراءة السفلى $BSR = 3.02$ ؟

الحل:

$$D(ft) = (TSR - BSR) \times 100 = (6.07ft - 3.02ft) \times 100 = 305 ft$$

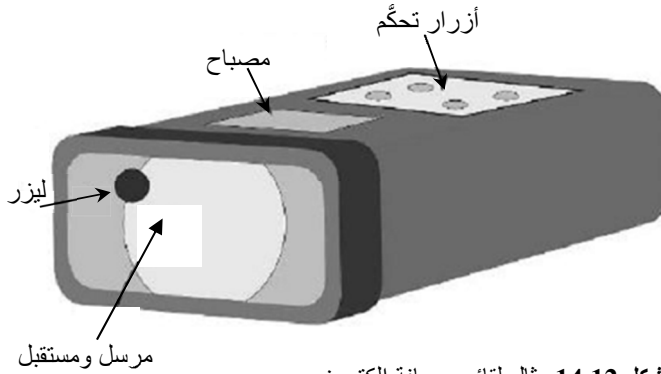
5.3.12 قانس المسافة البصري

يُستعمل كثير من التقانات المختلفة في أجهزة قياس المسافة البصرية. ويعمل الجهاز البسيط الذي من هذا النوع وفقاً لمبدأ التثليث. فعندما ينظر العامل من خلال الفتحة العينية، وعندما لا يكون الجهاز مضبوطاً على المسافة، يرى صورتين متماثلتين. وعند ضبط بؤرة العدسة حتى تتطبق الصورتان على بعضهما، تظهر المسافة على سلم مدرج على الجهاز. تتصف أجهزة قياس المسافة البصرية بدقة مقبولة لأعمال المساحة على مسافات قصيرة، لكن الخطأ يزداد فيها مع ازدياد المسافة.

6.3.12 قانس المسافة الإلكتروني (الليزري)

يُحدّد قانس المسافة الإلكتروني (الليزري) المسافة اعتماداً على المدة التي تستغرقها نبضة طاقة (نبضة ليزرية) للانتقال من نقطة إلى عاكس والعودة ثانية إلى الجهاز. وقد حلت هذه الأجهزة محل طرائق شرائط قياس المسافة المتعبة لقياس المسافات الأفقية. ويمكنها أيضاً أن تقيس المسافات فوق

التجمّعات المائية أو التضاريس الصعبة المرور فوقها، على أن يتوافر خط نظر بين القائس والعاكس. ويحتاج بعضها إلى سطح عاكس لكي تنعكس النبضة عنه، وبعضها لا يحتاج إلى عاكس. وتُستعمل في بعضها الآخر وحدة إلكترونية لإعادة الإشارة. انظر الشكل 14.12.



الشكل 14.12 مثال لقائس مسافة إلكتروني.

يُرسل قائس المسافة الإلكتروني حزمة طاقة (نبضة ليزرية) إلى جسم عاكس، ويُقاس المدة المنقضية بين لحظة إرسال النبضة ولحظة عودتها إليه. وتُحسب المسافة من معادلة السرعة:

$$V \left(\frac{\text{ft}}{\text{min}} \right) = \frac{\text{Distance}(\text{ft})}{\text{Time}(\text{min})}$$

$$\text{Distance}(\text{ft}) = V \left(\frac{\text{ft}}{\text{min}} \right) \times \text{Time}(\text{min})$$

الميزة الكبرى لقائس المسافة الإلكتروني هي أن مستعمل الجهاز غير مضطر للمشي على طول مسار المسافة، وكل ما يحتاج إليه هو خط نظر

بين الجهاز والعاكس. ويمكن استعمال هذا القائن أيضاً عندما يكون خط النظر محجوباً بالضباب أو المطر الخفيف (إذا كانت النبضة كهرمغناطيسية، لا ليزرية).

4.12 إجراءات المعايرة

أجهزة القياس هي أدوات ميكانيكية وكهربائية. وتتغير دقتها أحياناً مع الاستعمال، وتتغير بالتأكد حين إساءة استعمالها. ويُسمى ضبط دقة الأجهزة معايرة. وتُعاير الأجهزة بمقارنة أدائها بأداء جهاز معياري. ويُعتبر الفرق بين القيمة الوسطية لعدة قياسات للزاوية أو الطول، وبين الزاوية أو الطول اللذين يعطيها جهاز المعايرة خطأ. ويمكن لهذا الخطأ أن يكون عشوائياً أو منهجياً. وتتصف الأخطاء العشوائية بعدم إمكان التنبؤ بها، ويجب الحد منها باستعمال التقنيات والإجراءات الموصى بها. وتتجم الأخطاء المنهجية عادة عن عطل أو اهتراء في الجهاز. وإذا دلت عملية المعايرة على وجود خطأ منهجي، أي على وجود خطأ ثابت في كل عملية قياس، أمكن حساب عامل تصحيح واستعماله في تصحيح كل نتيجة قياس تُجرى بواسطة الجهاز.

1.4.12 تحديد عامل التصحيح

مسألة: في أثناء قياس مسافة معروفة تساوي 50.0 قدم بواسطة عداد مسافة ثلاث مرات، ظهرت النتائج التالية: 49.9 و 49.8 و 49.7 قدم. ما مقدار عامل التصحيح؟

الحل: أولاً نحدّد المسافة الوسطية:

$$(49.9 + 49.8 + 49.7)/3 = 49.8$$

عامل التصحيح = (المسافة المعلومة - المسافة المقاسة الوسطية) ÷ المسافة المعلومة

$$CF = \frac{50.0 \text{ ft} - 49.8 \text{ ft}}{50.0 \text{ ft}} = 0.004$$

يعطي هذا الجهاز 0.004 قدم خطأ في كل قدم مقياس. وبعد تحديد الخطأ، يمكن استعماله في تصحيح القياسات المجراة بهذا الجهاز.

مسألة: حدّد المسافة المصححة D_c عندما تساوي المسافة المقاسة 150.5 قدماً، ويساوي خطأ الجهاز 0.004.

الحل:

$$\begin{aligned} D_c &= 150.5 \text{ ft} + (150.5 \text{ ft} \times 0.004) \\ &= 150.5 \text{ ft} + 0.602 \text{ ft} = 151.102 \text{ or } 151.1 \text{ ft} \end{aligned}$$

المسافة المصححة تساوي 151.1 قدماً.

5.12 مسائل بالوحدات المترية

مسألة: حدّد عامل الخطو لشخص عد 132 و 134 و 133 خطوة عندما مشى مسافة 100 متر.

الحل:

$$PF = \frac{100 \text{ m}}{\frac{133 + 134 + 132}{3}} = \frac{100}{133} = 0.7518 \text{ or } 0.75 \frac{\text{m}}{\text{pace}}$$

مسألة: قام شخص عامل خَطَّوه يساوي 0.65 متر للخطوة بعدَّ 380 خطوة حين قياسه مسافة غير معروفة. ما مقدار تلك المسافة؟

الحل:

$$D = PF \times P = 0.65 \frac{\text{m}}{\text{pace}} \times 380 \text{ paces} = 247 \text{ m}$$

مسألة: استعمل دولاب قطره يساوي 70 سنتيمتراً لقياس مسافة بدحرجته على الأرض، فدار 124 دورة. ما مقدار المسافة المقاسة؟

المسافة = $\pi \times \text{القطر} \times \text{عدد الدورات}$

$$D = \frac{\pi \times 70 \text{ cm}}{1 \text{ rev}} \times 124 \text{ rev} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 272.69 \dots \text{ or } 273 \text{ m}$$

مسألة: استعمل الجدول 2.12 لتحديد المسافة الأفقية (HD) عندما تساوي المسافة المائلة (SD) 350 متراً، وتساوي نسبة الميل المئوية 12.0%.

الحل:

$$\begin{aligned} HD &= SD - \left(\frac{SD}{100} \times CF \right) \\ &= 350 \text{ m} - \left(\frac{350 \text{ m}}{100} \times 0.72 \right) = 350 \text{ m} - 2.52 \text{ m} \\ &= 347.48 \text{ or } 347.5 \text{ m} \end{aligned}$$

مسألة: حدّد المسافة الأفقية التي تنتُج عن استعمال منظار ومسطرة مساحية ذات تدريجات مترية. كانت قراءة المسطرة العليا 1.23 متر، وكانت القراءة السفلى 0.82 متر.

الحل:

$$D(m) = (TSR - BER) \times 100$$

$$= (1.23 - 0.82) \times 100 = 0.41 \times 100 = 41 \text{ m}$$

الجدول 2.12 عوامل التصحيح لتحويل المسافة المائلة إلى مسافة أفقية.

الميل %	عامل التصحيح (m/100m)	المسافة الأفقية الفعلية (لكل 100 m مسافة مائلة)
1	0.01	99.99
2	0.020	99.98
3	0.05	99.95
4	0.08	99.92
5	0.13	99.87
6	0.18	99.82
7	0.25	99.75
8	0.32	99.68
9	0.41	99.59
10	0.50	99.5
11	0.61	99.39

99.28	0.72	12
99.15	1.13	13
99.02	1.63	14
98.87	1.13	15
98.37	1.63	18
96.82	3.18	25
95.39	4.61	30

مسألة: حدّد المسافة المصحّحة المقابلة لمسافة مقاسة تساوي 750.5 متراً عندما يقيس الجهاز مسافة معلومة مقدارها 50 متراً أربع مرات ويعطي مسافات مقاسة تساوي 49.8 و 49.8 و 49.7 و 49.8 متراً.

الحل: نحسب أولاً عامل التصحيح، لكن قبل ذلك يجب حساب المسافة المقاسة الوسطية:

$$D_{av} = \frac{49.8 + 49.8 + 49.7 + 49.8}{4} = 49.775 \text{ m}$$

فيكون عامل التصحيح:

$$CF = \frac{50.0 \text{ m} - 49.775 \text{ m}}{50 \text{ m}} = 0.0045$$

أخيراً نستعمل عامل التصحيح لحساب المسافة المصحّحة D_c :

$$\begin{aligned} D_c &= 750.5 \text{ m} + (750.0 \text{ m} \times 0.0045) \\ &= 750.5 \text{ m} + 3.375 \text{ m} = 753.875 \text{ or } 753.9 \text{ m} \end{aligned}$$

13.

الزوايا والمساحات

1.13 الأهداف

1. التمكن من استعمال ثلاث طرائق غير مباشرة لرسم الزوايا وقياسها.
2. التمكن من حساب مساحات أشكال هندسية منتظمة.
3. التمكن من تحديد مساحات قطع من الأرض ذات أشكال غير منتظمة بتجزئتها إلى أشكال منتظمة.
4. التمكن من تحديد مساحات قطع من الأرض ذات أشكال غير منتظمة باستعمال معادلتين شبه منحرف.

2.13 تقديم

يُعتبر رسم وقياس الزوايا على درجة عالية من الأهمية للمساحة الزراعية. وفي هذا المقطع، وباستعمال أدوات وإجراءات بسيطة، سوف نتعلم ثلاث طرائق غير مباشرة يمكن استعمالها لرسم زاوية قائمة (90 درجة)، وطريقة يمكن استعمالها لرسم أو قياس أي زاوية بين 0 و 90 درجة. وهذه الإجراءات

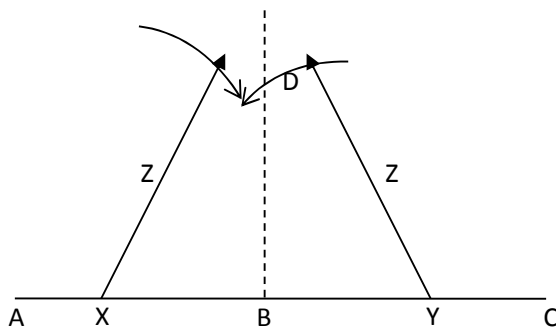
مفيدة في تخطيط المباني والأسوار، وفي رسم زوايا قطع أرض وحقول ومناطق صغيرة ذات أشكال غير منتظمة.

3.13 الزوايا

يسمى المساحون أجزاء الزاوية الثلاثة بخط القاعدة والقمة والارتفاع. وتقاس الزوايا أو تُحدَّد باستعمال أجهزة قياس أو طرائق مباشرة أو غير مباشرة. وثمة ثلاث طرائق غير مباشرة لقياس أو رسم الزوايا، اثنتان منها تقتصران على الزوايا القائمة، هما طريقة الوتر وطريقة 3-4-5، والثالثة هي طريقة الجيب والشريط وتُستعمل لأي زاوية بين 0 و 90 درجة.

1.3.13 طريقة الوتر

الوتر هو خط يصل بين أي نقطتين من دائرة. ويمكن استعمال هذا المبدأ الهندسي لرسم خط معامد لخط القاعدة. وهذه الطريقة بسيطة جداً ويمكن تحقيقها بخيطين لهما طولان مختلفان، أو حتى بأغصان أشجار. أما عيبها فهو أنه يجب تمديد خط القاعدة بعيداً من نقطة التلاقي (B). يُبين الشكل 1.13 هذه الطريقة.



الشكل 1.13 رسم زاوية قائمة باستعمال طريقة الوتر.

تتحقق عمودية الخط BD على خط القاعدة AC باتباع الخطوات التالية:

1. ارسم الخط AC إذا لم يكن موجوداً (سور أو حافة طريق).
2. حدّد نقطة B التي سوف يُقام العمود منها [قمة الزاوية].
3. ارسم النقطتين X و Y على مسافتين متساويتين من B على الخط AC.
4. ارسم قوسين من النقطتين X و Y بواسطة خيط طوله Z أكبر من XB أو YB.
5. ضع وتداً في نقطة تقاطع القوسين D.
6. فيكون الخط الواصل بين النقطتين D و B عمودي على الخط AC.

تُعتبر هذه الطريقة بسيطة من حيث المبدأ، إلا أن تنفيذها ليس سهلاً بسبب رسم الأقواس. فعلى الأرض غير المزروعة، يمكن رسمهما على الأرض، أما حين العمل على أرض مغطاة بالأعشاب أو النباتات الطويلة فإن ذلك أكثر صعوبة. والبدل هو استعمال شريطي قياس. ثبت أحد الشريطين في النقطة X والثاني في النقطة Y. حينئذ، تكون أي نقطة على مسافتين [قراءتين] متساويتين على الشريطين من النقطتين X و Y على الخط المعامد للخط AC في B.

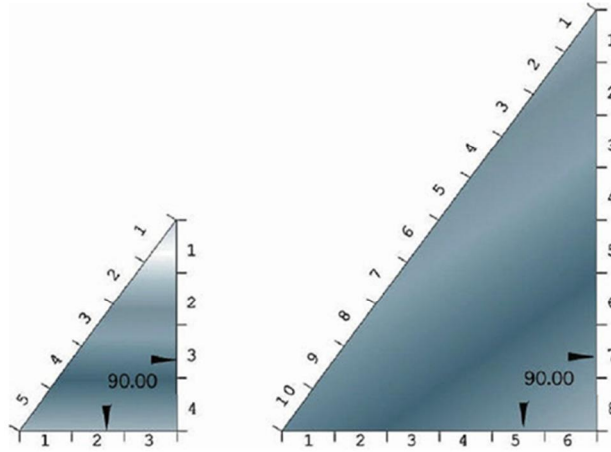
2.3.13 طريقة 3-4-5

تعتمد طريقة 3-4-5 لرسم الزاوية القائمة على نظرية فيثاغورس: في أي مثلث قائم الزاوية، يساوي مربع الوتر مجموع مربعي الضلعين الآخرين المتعامدين. لذا فإن استعمال أي مضاعف للـ 3 و الـ 4 لطولي الضلعين

القائمين يعطي وترأ طوله من مضاعفات الـ 5. وللبرهان على ذلك انظر في المعادلة التالية المرسومة بيانياً في الشكل 2.13:

$$5 = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5$$

ثمة ثلاثة متطلبات لهذه الطريقة: (1) يجب استعمال الوحدات نفسها (قدم، ياردة... إلخ) لجميع أضلاع المثلث، (2) ويجب استعمال عامل المضاعفة نفسه لجميع أطوال الأضلاع، (3) وأطول ضلع هو وتر المثلث. وحين تحقيق هذه المتطلبات الثلاثة، يمكن إنشاء زاوية قائمة.

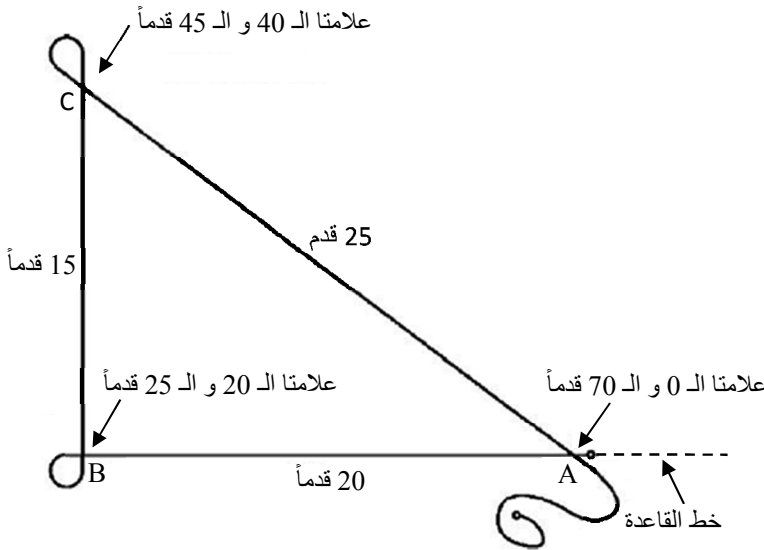


الشكل 2.13 مبادئ المثلثات القائمة الزاوية.

يمكن رسم زاوية قائمة باستعمال طريقة 3-4-5 بسهولة بوجود ثلاثة أشخاص مع شريطي قياس مسافة. حينئذ يُستعمل أحد البعدين، 3 أو 4، خطاً قاعدة، ويُحدّد مكانا الزاويتين على طرفي هذا الخط. ويقف شخصان عند هاتين النقطتين ويُمسكان بنهايتي الشريطين عند البعدين 3 و 4، ويُمسك الشخص

الثالث بنهايتي الشريطين الآخرين معاً وبيتعد إلى أن يُصبح الشريطان مشدودين بالقدر عينه.

ويمكن أيضاً تحقيق هذا الإجراء باستعمال شريط طوله 100 قدم. لكن نظراً إلى أن شرائط المساحة الفولاذية ليست مصممة بحيث يمكن تثبيتها بزاوية حادة، يجب تشكيل حلقتين عند الزاويتين. ويُنصح باستعمال حلقات أطوال محيطاتها تساوي 5 أقدام. انظر الشكل 3.13.



الشكل 3.13 رسم زاوية قائمة باستعمال طريقة 3-4-5 وشريط قياس طوله 100 قدم.

بتنفيذ الخطوات التالية، يمكن رسم زاوية قائمة باستعمال طريقة 3-4-5. وتحتاج هذه العملية إلى ثلاثة أشخاص:

1. أنشئ خط قاعدة AB وحدد عليه الزاوية B.

2. ضع الشريط على طول خط القاعدة بحيث تكون علامة الـ 20 قدماً في النقطة B وعلامة الصفر في النقطة A.

3. ثبّت النهاية A ودع شخصاً يُمسك بالشريط عند العلامة صفر في تلك النقطة.

4. شكّل حلقة طول محيطها يساوي 5 أقدام في الشريط ودع شخصاً يضع العلامة 20 قدماً فوق علامة الـ 25 قدماً، وضع هاتين العلامتين فوق النقطة B.

5. مدّ ما تبقى من الشريط باتجاه الزاوية C.

6. ضع علامتي الـ 40 قدماً والـ 45 قدماً على النقطة C مشكلاً حلقة محيطها يساوي 5 أقدام. تنتج قيمة الـ 40 قدماً من جمع المسافتين 20 و 15 قدماً على طرفي النقطة B وطول الحلقة 5 أقدام في تلك النقطة.

7. مدّ الشريط عائداً باتجاه النقطة A.

8. ضع العلامة 70 قدماً (45 قدماً + 25 قدماً) والعلامة 0 قدم معاً في الزاوية A.

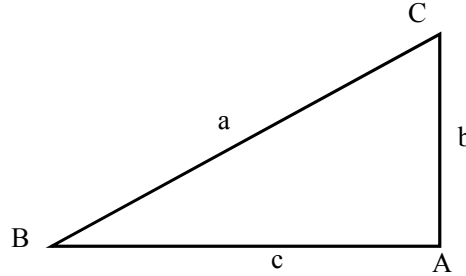
9. إذا حافظ الشخصان على موقعيهما في النقطتين A و B على خط القاعدة، وتحرك الشخص في النقطة C بحيث يشد الشريط من الاتجاهين، تكوّنت زاوية قائمة في النقطة B.

تتجح هذه الطريقة مع أي تركيب من الأطوال التي من مضاعفات الـ 3 والـ 4 والـ 5. وإحدى مزايا هذه الطريقة هي أنه لا حاجة إلى مد خط القاعدة إلى ما بعد نقطة الزاوية القائمة.

3.3.13 طريقة الشريط وتابع الجيب

تُستعمل في هذه الطريقة تشكيلة من المسافات المقاسة بشريط قياس مع تابع الجيب المثلثي. وهي لا تقتصر على الزوايا القائمة، بل يمكن استعمالها لرسم أو قياس أي زاوية بين خطين. وسوف تتّضح هذه الطريقة بعد مراجعة للتوابع المثلثية الثلاثة الشائعة الاستعمال.

تقوم التوابع المثلثية على مبدأ أن ثمة نسبة فريدة توجد بين طولي أي ضلعين مجاورين لأي من الزاويتين B و C. فنظراً إلى وجود ثلاثة أضلاع في المثلث القائم الزاوية، فإن ثمة لكل زاوية (B أو C) ستة تراكيب ممكنة من ضلعين. وقد أُعطي كل من هذه التراكيب اسماً. والنسب الممكنة هي:



$$\text{sine } B = \frac{b}{a}$$

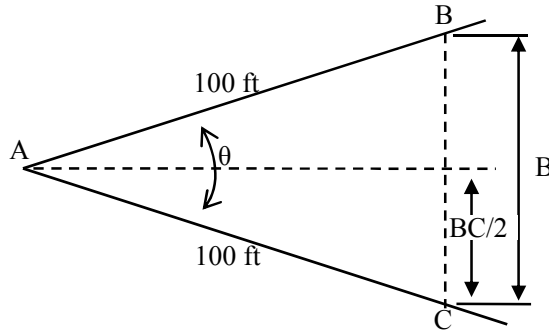
$$\text{cosine } B = \frac{c}{a}$$

$$\text{tan} B = \frac{b}{c}$$

حيث a هو طول وتر المثلث القائم الزاوية، و b و c هما طولاً الضلعين القائمين وحيث \sin : جيب و \cos : جيب تمام و \tan : مماس. وتوجد علاقات مشابهة بالنسبة إلى الزاوية C . ويمثل كل من هذه التوابع معادلة بثلاثة متغيرات: تابع الزاوية، وطولي ضلعين. وإذا عُلِمَ أي متغيرين، أمكن تحديد الثالث.

وفي طريقة الشريط والجيب، يُستعمل تابع الجيب فقط. وإجراء رسم زاوية (θ) يختلف قليلاً عن إجراء قياس زاوية موجودة.

أولاً سوف نشرح طريقة قياس زاوية موجودة. باستعمال المثال المبين في الشكل 5.13، نريد تحديد الزاوية BAC . في البداية نوضع علامتان للنقطتين B و C على الخطين AB و AC لهما البعد نفسه عن A ، ونُقاس بعدد المسافة BC . ثم يُرسم مثلثان قائمان برسم خط من A إلى نقطة منتصف المسافة BC .



الشكل 5.13 مثال لطريقة الشريط والجيب.

تمثل المسافتان $BC/2$ و AC ضلعان من مثلث قائم الزاوية. وفي هذا المثال، سوف نفترض أن $BC = 61.8 \text{ ft}$. والآن يمكن إيجاد زاوية أي من المثلثين باستعمال معادلة الجيب:

$$\sin \theta/2 = \frac{BC/2}{AC} = \frac{30.9 \text{ ft}}{100 \text{ ft}} = 0.309$$

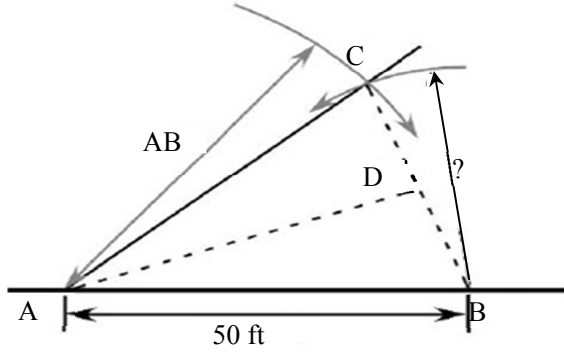
القيمة 0.309 هي قيمة جيب نصف الزاوية A . والخطوة التالية هي تحديد الزاوية التي جيبها يساوي 0.309.

لتحديد الزاوية باستعمال آلة حاسبة، أدخل 0.309 ثم اضغط زر معكوس الجيب. ويمكن تحديد الزاوية أيضاً من الجدول 1.13. إن كلا المصدرين يعطيان الزاوية 18 درجة. ونظراً إلى أننا استعملنا المسافة $BC/2$ لحساب الزاوية، فإن الزاوية CAB تساوي $36^\circ = 2 \times 18^\circ$.

يمكن اتباع الإجراء نفسه لرسم زاوية. على سبيل المثال، افترض أنك تريد إقامة سور بزاوية تساوي 40 درجة مع السور الحالي. فكيف نستعمل طريقة الشريط والجيب؟ انظر الشكل 6.13.

الجدول 1.13 قيم جيب الزوايا المقدرة بالدرجات

الزاوية	الجيب	الزاوية	الجيب	الزاوية	الجيب
0	0.000	31	0.515	61	0.875
1	0.017	32	0.530	62	0.883
2	0.035	33	0.545	63	0.891
3	0.052	34	0.559	64	0.899
4	0.070	35	0.574	65	0.906
5	0.087	36	0.588	66	0.914
6	0.105	37	0.602	67	0.921
7	0.122	38	0.616	68	0.927
8	0.139	39	0.629	69	0.934
9	0.156	40	0.643	70	0.940
10	0.174	41	0.656	71	0.946
11	0.191	42	0.669	72	0.951
12	0.208	43	0.682	73	0.956
13	0.225	44	0.695	74	0.961
14	0.242	45	0.707	75	0.966
15	0.259	46	0.719	76	0.971
16	0.276	47	0.731	77	0.974
17	0.292	48	0.743	78	0.978
18	0.309	49	0.755	79	0.982
19	0.326	50	0.766	80	0.985
20	0.342	51	0.777	81	0.988
21	0.358	52	0.788	82	0.990
22	0.375	53	0.799	83	0.993
23	0.391	54	0.809	84	0.995
24	0.407	55	0.819	85	0.996
25	0.423	56	0.829	86	0.998
26	0.438	57	0.839	87	0.999
27	0.454	58	0.848	88	0.999
28	0.469	59	0.857	89	1.000
29	0.485	60	0.866	90	1.000
30	0.500				



الشكل 6.13 إنشاء زاوية باستعمال طريقة الشريط والجيب.

المبادئ التي تقوم عليها هذه الطريقة هي مبادئ المثلثات. ثمة حاجة إلى نقطتين لإنشاء خط، ولتحديد موقع نقطة تجب معرفة ثلاثة أبعاد أو زاوية وبعد واحد. فلإنشاء الخط AC بحيث يُكوّن زاوية مقدارها 40° مع خط القاعدة AB ، تُستعمل ثلاثة أبعاد لتحديد موقع النقطة C . اثنان من الأبعاد هما مسافة يختارها الشخص الذي يُنشئ الزاوية، وقد استُعملت المسافة 50 قدماً في هذا المثال. والبعد الثالث هو المسافة من النقطة B إلى النقطة C . ولتحديد هذا البعد ذهنياً، جُزئ المثلث CAB إلى مثلثين قائمي الزاوية (CAD و BAD) واحسب طول الضلع المقابل في أحدهما، ثم ضاعف هذه المسافة. والمسافة المضاعفة هي المسافة من B إلى C . والمسافة من A إلى C ، هي كالمسافة من A إلى B . وباستعمال النقطة B والطول BC ، ارسم قوساً صغيراً بالقرب من النقطة C . وباستعمال النقطة A والطول AB ، ارسم قوساً آخر. فيكون تقاطع القوسين في النقطة C . والخط الممتد من A إلى C يمثل خط السور المطلوب بالزاوية الصحيحة.

لتحديد المسافة $BC/2$ ، يُرتَّب تابع الجيب لحساب طول الضلع المقابل (Opposite) بمعرفة جيب الزاوية وطول الوتر (Hypotenuse):

$$\sin A = \frac{\text{Opposite}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{القاعدة}}$$

$$\text{Opposite} = \sin A \times \text{Hypotenuse}$$

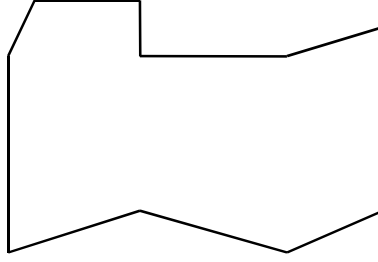
$$= \sin 20^\circ \times 50.0 \text{ ft} = 17.1010 \dots \text{ft}$$

$$17.1010 \dots \times 2 = 34.2020 \dots \text{ or } 34.2 \text{ ft}$$

ولرسم الزاوية، ارسم قوساً نصف قطر دائرته يساوي 34.2 قدماً من النقطة B، وآخر نصف قطر دائرته يساوي 50 قدماً من النقطة A، واغرز وتدّاً في نقطة تقاطع القوسين (النقطة C). وتتكوّن زاوية مقدارها 40 درجة مع خط القاعدة AB برسم خط من A إلى C. ويمكن رسم القوسين في هذه الطريقة باستعمال شريطي قياس مسافة.

4.13 مساحات الأشكال الهندسية المنتظمة

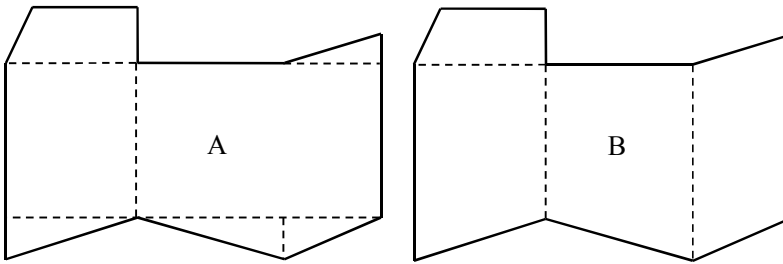
أحد أكثر أنواع المساحة شيوعاً هو قياس مساحة جزء من حقل أو مزرعة أوقطعة أرض. وحين الحاجة إلى دقة عالية، يجب استخدام مهندس أو مساح محترف. وإذا لم تكن الدقة المطلوبة بذلك المستوى، فإنه يمكن تحديد مساحات مناطق كثيرة بمجرد استعمال شريط قياس مسافة مع تطبيق قواعد الهندسة. أما مساحة الحقل ذي الشكل غير المنتظم، فيمكن حسابها بتجزئة الحقل إلى أشكال منتظمة، وتحديد مساحة الأجزاء حسابياً، ثم جمع مساحات الأجزاء لإيجاد المساحة الكلية. انظر الشكل 7.13.



الشكل 7.13 حقل ذو شكل غير منتظم.

ليس ثمة من طريقة صحيحة أو خاطئة لتجزئة الحقل. بل إن الهدف هو تجميع القياسات المطلوبة بصرف أقل قدر ممكن من الجهود. وتعتمد الطريقة الفضلى على التجهيزات المستعملة وعلى العوائق الموجودة في الحقل.

يُري الشكل 8.13 طريقتين مختلفتين لتجزئة حقل ذي شكل غير منتظم إلى أشكال منتظمة. وكل من الطريقتين يؤدي إلى المساحة نفسها، لكن الطريقة B تستغرق مدة أقصر وتتطلب جهوداً أقل لأنها تحتاج إلى عدد أقل من القياسات. ولاستعمال هذه الطريقة، من الضروري تطبيق معادلة المساحة الصحيحة لكل شكل من الأشكال المنتظمة الناتجة.



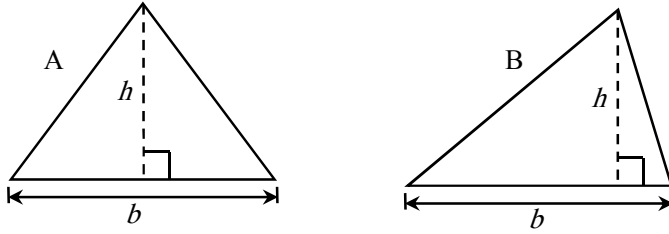
الشكل 8.13 طريقتان مختلفتان لتجزئة حقل غير منتظم إلى أشكال منتظمة.

5.13 مساحة المثلث

يمكن استعمال ثلاث معادلات مختلفة لحساب مساحة مثلث، وذلك تبعاً لأبعاد المثلث المعروفة.

1.5.13 القاعدة والارتفاع

يمكن استعمال هذه المعادلة عندما يكون ارتفاع المثلث وقاعدته معلومين.
انظر الشكل 9.13.



الشكل 9.13 حساب مساحة المثلث عندما يكون كل من القاعدة والارتفاع معلوماً.

هذه أسهل معادلة يمكن استعمالها لحساب مساحة المثلث، إلا أن من الصعب الحصول على البعدين اللازمين. فالصعوبة تكمن في تحديد تقاطع الارتفاع مع القاعدة. إذا كان المثلث متساوي الساقين (الشكل A)، أو متساوي الأضلاع، ليست المسألة بتلك الصعوبة، لأن نقطة التقاطع تقع في منتصف القاعدة. وفي ما عدا ذلك، فإن تحديد نقطة التقاطع صعب جداً. أما معادلة المساحة فهي:

$$A = \frac{1}{2} \times b \times h$$

حيث A هي المساحة، و b هو طول القاعدة، و h هو طول الارتفاع المتعامد مع القاعدة.

مسألة: ما مقدار مساحة مثلث، مقدرة بالإيكر، إذا كان طول قاعدته يساوي 150.0 قدماً وطول ارتفاعه يساوي 100.0 قدم.

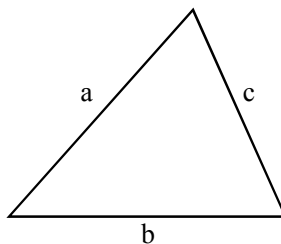
الحل:

$$A = \frac{1}{2} \times 150.0 \text{ ft} \times 100.0 \text{ ft} = 7,500 \text{ ft}^2$$

$$= 7,500 \text{ ft}^2 \times \frac{1 \text{ ac}}{43560 \text{ ft}^2} = 0.17217 \dots \text{ or } 0.1722 \text{ ac}$$

2.5.13 ثلاثة أضلاع

الحالة الثانية للمثلث هي الحالة التي تكون فيها أضلاعه الثلاثة معلومة. انظر الشكل 10.13. تُعتبر طريقة تحديد مساحة المثلث بهذه الطريقة أسهل استعمالاً لأن القياسات الوحيدة المطلوبة هي أطوال أضلاع المثلث. ولا يؤثر شكل المثلث بصعوبة إجراء القياسات.



الشكل 10.13 حساب مساحة مثلث أطوال أضلاعه معروفة.

المحدودية الرئيسية لهذه الطريقة هي ضرورة قياس أطوال أضلاعه الثلاثة، ولا يمكن استعمالها إذا كان ضلع واحد أو أكثر غير معلوم. معادلة المساحة هي:

$$A = \sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)} \quad S = \frac{a+b+c}{2}$$

حيث a و b و c هي أطوال أضلاع المثلث.

مسألة: احسب مساحة مثلث، مقدرة بالقدم المربع، إذا كانت أطوال أضلاعه تساوي 650.0 قدماً، و 428.0 قدماً، و 282.0 قدماً.

الحل:

$$S = \frac{a+b+c}{2} = \frac{650.0 \text{ ft} + 428.0 \text{ ft} + 282.0 \text{ ft}}{2} = 680.0 \text{ ft}$$

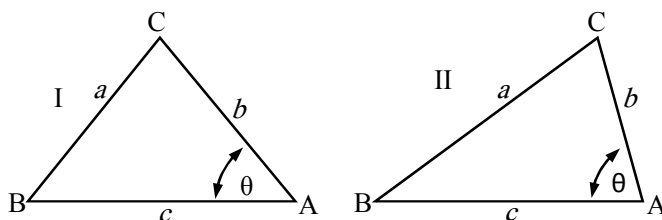
$$\begin{aligned} A &= \sqrt{680.0 (680.0 - 650.6)(680.0 - 428.0)(680.0 - 282.0)} \\ &= \sqrt{680.0 (30.0)(252.0)(398.0)} \\ &= \sqrt{2046038400} = 45,233.15598 \text{ or } 45,230 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

3.5.13 زاوية وضلعان

الحالة الثالثة للمثلث هي عند معرفة زاوية واحدة وضلعين مجاورين لها. انظر الشكل 11.13. تتمثل محدودية هذه الطريقة بأن الزاوية يجب أن تكون أصغر من 90 درجة، ويجب أن تكون معلومة أو يجب قياسها. أما معادلة المساحة في هذه الحالة فهي:

$$A = \frac{1}{2} \times (b \times c \times \sin \theta)$$

حيث A هي مساحة المثلث، و b و c هما الضلعان المعلومان، و θ هي الزاوية المعلومة بين الضلعين، و \sin هو تابع الجيب المثلثي. إن هذه المعادلة مفيدة جداً عندما يكون من غير الممكن قياس طول أحد أضلاع المثلث.



الشكل 11.13 حالة معرفة زاوية واحدة وضلعين من المثلث.

مسألة: احسب مساحة مثلث طولاً ضلعيه يساويان 350.0 قدماً و 550.0 قدماً، وتساوي الزاوية بينهما 45 درجة.

الحل:

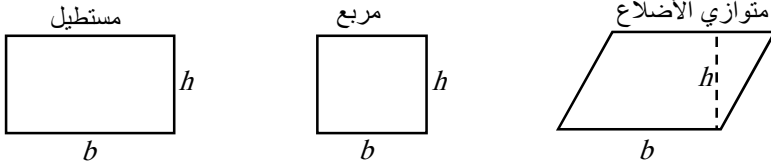
$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{2} \times (b \times c \times \sin \theta) \\
 &= \frac{1}{2} \times 350.0 \text{ ft} \times 555.0 \text{ ft} \times \sin 45 \\
 &= \frac{137,355.4922}{2} = 68,677.746 \dots \text{ or } 68,700 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

6.13 مساحة المستطيل والمربع ومتوازي الأضلاع

سوف ننظر في هذه الأشكال معاً لأن مساحاتها تُحسب بالمعادلة نفسها. تذكر أن الارتفاع h في متوازي الأضلاع عمودي على القاعدة b . انظر الشكل 12.13. أما معادلة المساحة فهي:

$$A = b \times h$$

حيث A هي المساحة، و b هو طول القاعدة، و h هو الارتفاع، وهو عمودي على القاعدة.



الشكل 12.13 القاعدة والارتفاع في المستطيل والمربع ومتوازي الأضلاع.

مسألة: ما مقدار مساحة مستطيل بُعدها يساويان 1320.0 قدماً و 660.0 قدماً؟

الحل:

$$A = b \times h = 1,320.0 \text{ ft} \times 660.0 \text{ ft} = 871,200 \text{ ft}^2$$

مسألة: ما مقدار مساحة متوازي أضلاع، مقدرة بالأيكر، عندما يساوي طول قاعدته 1050.0 قدماً ويساوي ارتفاعه 750.0 قدماً؟

الحل: يمكن حساب المساحة أولاً ثم تحويل وحدة القدم المربع إلى إيكر. ويمكن أيضاً إضافة التحويل إلى إيكر إلى المعادلة:

$$\begin{aligned} A (\text{ac}) &= b \times h \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \\ &= 1,050.0 \text{ ft} \times 750.0 \text{ ft} \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \\ &= 18.078 \dots \text{ or } 18.08 \text{ ac} \end{aligned}$$

7.13 مساحة الدائرة والقطاع الدائري

استعملنا معادلة مساحة الدائرة بصيغة مختلفة قليلاً في الفصل 5 حين حساب الإزاحة في المحرك:

$$A = \pi r^2$$

حيث A هي المساحة، و $\pi = 3.14$ ، و r هو نصف قطر الدائرة.

والقطاع الدائري هو جزء من دائرة. ويفرض البعد المعروف، أي زاوية أو طول القوس الدائري، المعادلة التي تُستعمل لحساب مساحة القطاع. انظر الشكل 13.13.

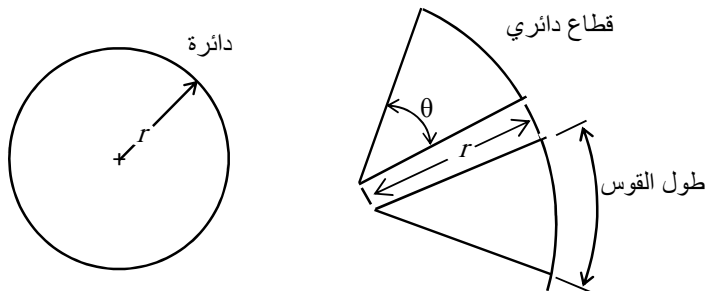
عندما تكون الزاوية معلومة، تعطى مساحة القطاع بالمعادلة التالية:

$$A = \frac{\pi \times r^2 \times \theta}{360}$$

حيث A هي المساحة، و $\pi = 3.14$ ، و θ هي زاوية القطاع مقدرة بالدرجة، و r نصف قطر دائرة القطاع. وعندما يكون طول قوس القطاع هو المعلوم، تصبح معادلة المساحة:

$$A = \frac{r \times al}{2}$$

حيث al هو طول القوس.



الشكل 13.13 دائرة وقطاع دائري.

مسألة: احسب مساحة دائرة نصف قطرها يساوي 75.0 قدماً.

الحل:

$$A = \pi \times r^2 = 3.14 \times (75.0 \text{ ft})^2 = 17,662.5 \text{ or } 17,700 \text{ ft}^2$$

مسألة: احسب مساحة قطاع دائري نصف قطر دائرته يساوي 135 قدماً، وزاويته تساوي 60.0 درجة.

الحل:

$$A = \frac{\pi \times r^2 \times \theta}{360} = \frac{3.14 \times (135.0 \text{ ft})^2 \times 60.0^\circ}{360}$$

$$= \frac{3,433,590}{360} = 9,537.75 \text{ or } 9,540 \text{ ft}^2$$

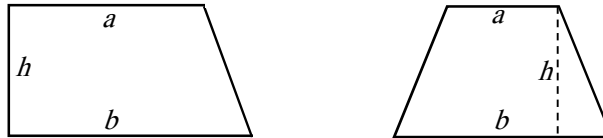
مسألة: ما مقدار مساحة قطاع دائري، مقدرة بالإنش، إذا كان نصف قطر دائرته يساوي 100.0 قدم وكان طول قوسه يساوي 210.0 أقدام؟

الحل: بإدخال عامل التحويل من قدم مربع إلى إيكير في معادلة مساحة القطاع الدائري ينتُج:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{r \times al}{2} \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \\
 &= \frac{100.0 \text{ ft} \times 210.0 \text{ ft}}{2} \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \\
 &= \frac{21,000}{87,120} = 0.24104 \dots \text{ or } 0.241 \text{ ac}
 \end{aligned}$$

8.13 مساحة شبه المنحرف

شبه المنحرف هو شكل رباعي الأضلاع اثنان منهما فقط متوازيان. لاحظ أن ارتفاع شبه المنحرف يكون متعامداً مع الضلعين المتوازيين. انظر الشكل 14.13.



الشكل 14.13 شكلان شبه منحرفين.

تعطى مساحة شبه المنحرف بالمعادلة التالية:

$$A = h \times \frac{a + b}{2}$$

حيث A هي المساحة، و h هو الارتفاع (المسافة بين الضلعين المتوازيين)، و a و b هما طول الضلعين المتوازيين.

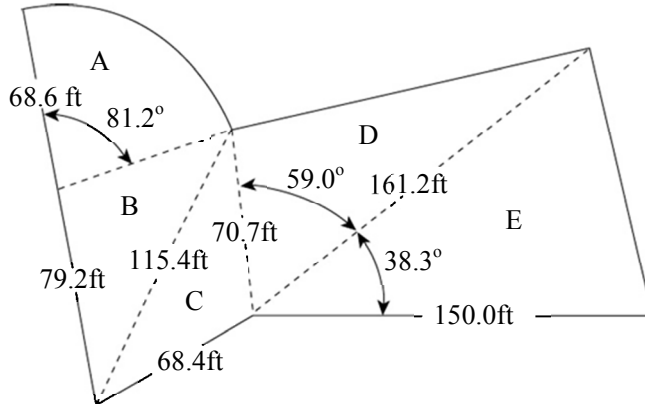
مسألة: ما مقدار مساحة شبه منحرف، مقدرة بالإيكر، إذا كان طول ضلعيه المتوازيين يساويان 300.0 قدم و 450.0 قدماً، وكان ارتفاعه يساوي 120.0 قدماً؟

الحل: باستعمال عامل التحويل من قدم مربع إلى إيكر في معادلة المساحة ينتج:

$$\begin{aligned} A &= h \times \frac{a + b}{2} \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \\ &= 120.0 \text{ ft} \times \frac{300.0 \text{ fr} + 450.0 \text{ ft}}{2} \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \\ &= 1.03305 \dots \text{ or } 1.033 \text{ ac} \end{aligned}$$

9.13 تحديد مساحات حقول غير منتظمة الشكل باستعمال أشكال هندسية منتظمة

قليلة هي الحقول أو الحقائق ذات الأشكال الهندسية المنتظمة. وصحيحٌ أنها قد لا تكون معقدة كتعقيد الشكل 15.13، إلا أن مبادئ حساب مساحتها تبقى هي نفسها. فمساحة الحقل الكلية تساوي مجموع مساحات أجزائه، ومفتاح إجراء الحسابات بكفاءة هو تجزئة الشكل غير المنتظم إلى أصغر عدد ممكن من الأشكال المنتظمة.



الشكل 15.13 مثال لتحديد مساحة شكل غير منتظم.

الشكل A هو قطاع دائري ذو نصف قطر وزاوية معلومان. ويمكن حساب مساحته باستعمال معادلة القطاع الدائري:

$$A_A = \frac{\pi \times r^2 \times \theta}{360} = \frac{3.14 \times (68.6 \text{ ft})^2 \times 81.2^\circ}{360}$$

$$= \frac{12,004,778}{360} = 3,334.66 \text{ or } 3,330 \text{ ft}^2$$

والشكل B هو مثلث أطوال أضلاعه الثلاثة معلومة:

$$A_B = \sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)} \quad S = \frac{a+b+c}{2}$$

$$S = \frac{a+b+c}{2} = \frac{68.6 \text{ ft} + 79.2 \text{ ft} + 115.4 \text{ ft}}{2} = 131.6 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
A_B &= \sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)} \\
&= \sqrt{131.6(131.6-68.6)(131.6-79.2)(131.6-115.4)} \\
&= \sqrt{131.6(63)(52.4)(16.2)} \\
&= \sqrt{7037894.304} = 2652.90 \dots \text{ or } 2650 \text{ ft}^2
\end{aligned}$$

والشكل C هو مثلث أطوال أضلاعه الثلاثة معلومة أيضاً:

$$\begin{aligned}
A_C &= \sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)} \quad S = \frac{a+b+c}{2} \\
S &= \frac{a+b+c}{2} = \frac{68.4 \text{ ft} + 70.7 \text{ ft} + 115.4 \text{ ft}}{2} = 127.25 \text{ ft} \\
A_C &= \sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)} \\
&= \sqrt{127.25(127.25-68.4)(127.25-70.7)(127.25-115.4)} \\
&= \sqrt{127.25(58.85)(56.55)(11.85)} \\
&= \sqrt{5,018,283.793} = 2,240.15 \dots \text{ or } 2,240 \text{ ft}^2
\end{aligned}$$

والشكل D هو مثلث فيه زاوية معلومة مع الضلعين المجاورين لها:

$$\begin{aligned}
A_D &= \frac{1}{2} \times a \times b \times \sin \theta \\
&= \frac{1}{2} \times 70.7 \text{ ft} \times 161.2 \text{ ft} \times \sin 59.0 \\
&= \frac{11,396.84 \times 0.8571 \dots}{2} \\
&= 4,884.49 \dots \text{ or } 4,880 \text{ ft}^2
\end{aligned}$$

والشكل E كالشكل D:

$$\begin{aligned} A_E &= \frac{1}{2} \times a \times b \times \sin \theta \\ &= \frac{1}{2} \times 161.2 \text{ ft} \times 150.0 \text{ ft} \times \sin 38.3 \\ &= \frac{24,180 \times 0.61977 \dots}{2} = 7,493.12 \dots \text{ or } 7,490 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

الآن، وبعد معرفة مساحات الأشكال المختلفة، تُحسب المساحة الكلية A_T بجمع تلك المساحات معاً:

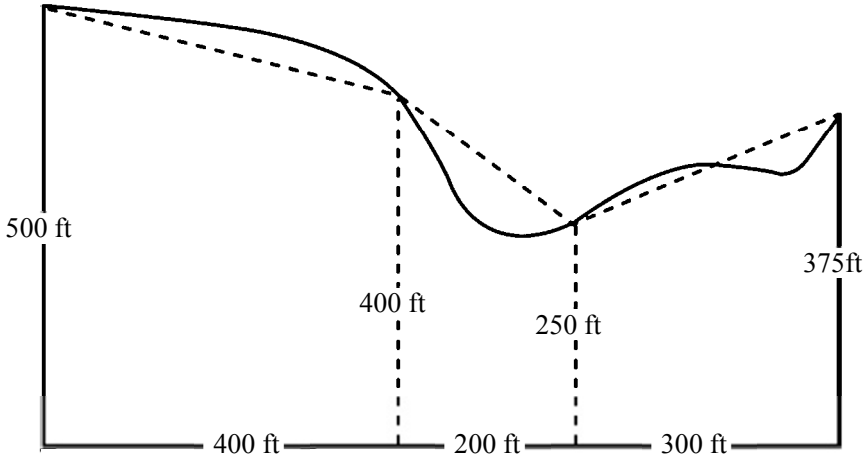
$$\begin{aligned} A_T &= A_A + A_B + A_C + A_D + A_E \\ &= 3,330 \text{ ft}^2 + 2,650 \text{ ft}^2 + 2,240 \text{ ft}^2 + 4,880 \text{ ft}^2 + 7,490 \text{ ft}^2 \\ &= 20,590 \text{ or } 20,600 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

10.13 تحديد مساحات الأشكال غير المنتظمة باستعمال معادلة

شبه المنحرف

من الضروري أحياناً تحديد مساحة حقل أو أي عقار آخر أحد حدوده ذو شكل غير منتظم. وهذه مشكلة شائعة خاصة عندما يتكوّن الحد من نهر أو بحيرة. يمكن في هذه الحالة حساب المساحة من خلال تجزئة الحقل إلى مجموعة من الأشكال شبه المنحرفة وحساب مساحاتها ثم جمع تلك المساحات معاً. وفي الحالات التي يمكن فيها للارتفاعات أن تكون متساوية، يمكن استعمال معادلة جمع أشباه المنحرفات.

مسألة: ما مقدار مساحة الشكل المبين في الشكل 16.13، مقدرة بالإيكر؟



الشكل 16.13 مثال لاستعمال أشباه المنحرفات للأشكال غير المنتظمة.

الحل: تساوي المساحة الكلية A_T مجموع مساحات أشباه المنحرفات التي يتألف منها الشكل:

$$A = h \times \frac{a + b}{2}$$

$$\begin{aligned} A_T &= \left(h_1 \times \frac{a_1 + b_1}{2} \right) + \left(h_2 \times \frac{a_2 + b_2}{2} \right) + \left(h_3 \times \frac{a_3 + b_3}{2} \right) \\ &= \left(400 \text{ ft} \times \frac{500 \text{ ft} + 400 \text{ ft}}{2} \right) + \left(200 \text{ ft} \times \frac{400 \text{ ft} + 250 \text{ ft}}{2} \right) \\ &\quad + \left(300 \text{ ft} \times \frac{250 \text{ ft} + 375 \text{ ft}}{2} \right) \\ &= (400 \times 450) + (200 \times 325) + (300 \times 312.5) \\ &= 180,000 + 65,000 + 93,750 = 338,750 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$A_T(ac) = 338,750 \text{ ft}^2 \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} = 7.776 \text{ or } 7.78 \text{ ac}$$

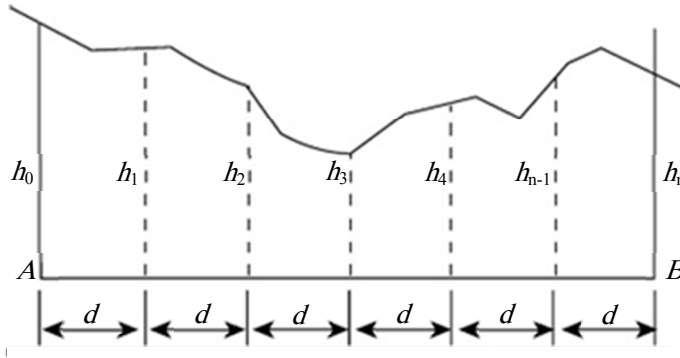
تساوي مساحة الحقل في هذه المسألة 7.78 إيكرا تقريباً. فلماذا تقريباً؟ لأن الخطوط المقطّعة المستعملة لتعريف أشباه المنحرفات تمثّل حدوداً تقريبية للحقل، لا الحدود الفعلية. انظر الشكل 16.13.

وعندما يكون حد الحقل ذو الشكل غير المنتظم متجانساً بقدر كاف بحيث يسمح بإنشاء مسافات (d) متساوية على طول خط القاعدة، يمكن استعمال معادلة جمع مساحات أشباه المنحرفات. انظر الشكل 17.13 والمعادلة التالية لفهم الطريقة:

$$A = d \times \left(\frac{h_0}{2} + \sum h_i + \frac{h_n}{2} \right)$$

حيث A هي مساحة الشكل الكلية، و d طول المسافات المتساوية التي تقسّم القاعدة إليها، و h_0 و h_n هما ارتفاعا البداية والنهاية، و $\sum h_i$ هو مجموع الارتفاعات الداخلية (من دون ارتفاعي البداية والنهاية).

لاستعمال معادلة الجمع يُجزأ طول الحقل AB إلى عدد من المسافات المتساوية d ، وتُقاس الارتفاعات h المتعامدة مع AB والممتدة حتى حد الحقل المتعرّج وتُسجّل.

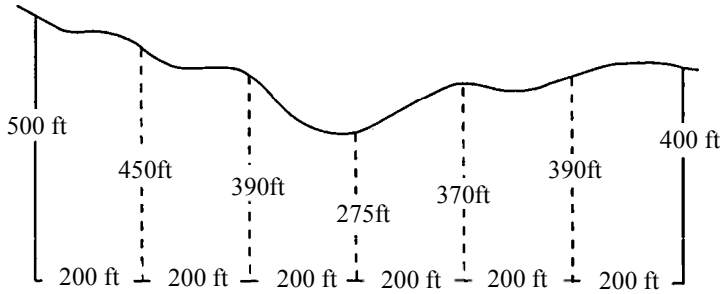


الشكل 17.13 تمثيل لمعادلة جمع أشباه المنحرفات.

مسألة: حدّد مساحة الحقل المبين في الشكل 18.13 مقدرة بالإيكر.

الحل:

$$\begin{aligned}
 A &= d \times \left(\frac{h_0}{2} + \sum h_i + \frac{h_n}{2} \right) \\
 &= 200 \text{ ft} \times \left(\frac{500 \text{ ft}}{2} + (450 \text{ ft} + 390 \text{ ft} + 275 \text{ ft} + 370 \text{ ft} + 390 \text{ ft}) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{400 \text{ ft}}{2} \right) \\
 &= 200 \text{ ft} \times 2,325 \text{ ft} = 465,000 \text{ ft}^2 \\
 A(ac) &= 465,000 \text{ ft}^2 \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} = 10.67 \dots \text{ or } 10.7 \text{ ac}
 \end{aligned}$$



الشكل 18.13 تطبيق معادلة مجموع أشباه المنحرفات على حقل.

11.13 مسائل بالوحدات المترية

مسألة: كم تساوي مساحة مثلث، بالهكتار، إذا كان طول قاعدته يساوي 159.0 متراً وطول ارتفاعه يساوي 100.0 متر؟

الحل:

$$A = \frac{1}{2} \times 150.0 \text{ m} \times 100.0 \text{ m} = 7,500 \text{ m}^2$$

$$A(\text{ha}) = 7,500 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} = 0.75 \text{ ha}$$

مسألة: احسب مساحة مثلث، مقدرة بالمتر المربع، إذا كانت أطوال أضلاعه تساوي 650.0 متراً، و 428.0 متراً، و 282.0 متراً.

الحل:

$$S = \frac{a + b + c}{2} = \frac{650.0 \text{ m} + 428.0 \text{ m} + 282.0 \text{ m}}{2} = 680.0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \sqrt{680.0(680.0 - 650)(680.0 - 428.0)(680.0 - 282.0)} \\
 &= \sqrt{680.0(30.0)(252.0)(398.0)} \\
 &= \sqrt{2,046,038,400} = 45,233.15598 \text{ or } 45,230 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

مسألة: احسب مساحة مثلث، مقدرة بالمتري المربع، إذا كان طولاً ضلعيه يساويان 350.0 متراً و 555.0 متراً، وكانت الزاوية بينهما تساوي 45 درجة.

الحل:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{2} \times a \times b \times \sin \theta \\
 &= \frac{1}{2} \times 350.0 \text{ m} \times 550.0 \text{ m} \times \sin 45 \\
 &= \frac{194,250}{2} \times 0.7071 = 68,677.74 \dots \text{ or } 68,700 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

مسألة: احسب مساحة مستطيل، مقدرة بالمتري المربع، إذا كان طولاً بُعديه يساويان 1320.0 متراً و 660.0 متراً.

الحل:

$$A = b \times h = 1,320.0 \text{ m} \times 660.0 \text{ m} = 871,200 \text{ m}^2$$

مسألة: ما مقدار مساحة متوازي أضلاع، مقدرة بالهكتار، عندما يساوي طول قاعدته 1050.0 متراً ويساوي ارتفاعه 750.0 متراً؟

الحل:

$$A(ha) = b \times h \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} = \frac{787,500}{10,000} \\ = 78.75 \text{ or } 78.8 \text{ ha}$$

مسألة: احسب مساحة دائرة نصف قطرها يساوي 75.0 متراً.

$$A(m^2) = \pi \times r^2 = 3.14 \dots \times 75.0^2 = 17,671.45 \dots \text{ or } 17,700 \text{ m}^2$$

مسألة: احسب، بالمتري المربع، مساحة قطاع دائري نصف قطر دائرته يساوي 135.0 متراً وزاويته تساوي 60.0 درجة.

الحل:

$$A = \frac{\pi \times r^2 \times \theta}{360} = \frac{3.14 \times (135.0 \text{ m})^2 \times 60.0^\circ}{360} \\ = \frac{3,433,590}{360} = 9,537.75 \text{ or } 9,540 \text{ m}^2$$

مسألة: احسب، بالهكتار، مساحة قطاع دائري نصف قطر دائرته يساوي 100.0 متر وطول قوسه يساوي 210.0 أمتار.

الحل:

$$A(ha) = \frac{r \times \text{arc length}}{2} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} \\ = \frac{100.0 \text{ m} \times 210.0 \text{ m}}{2} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} = \frac{21,000}{10,000} = 2.1 \text{ ha}$$

مسألة: احسب، بالهكتار، مساحة شبه منحرف طولاً ضلعيه المتوازيين يساويان 300.0 متر و 450.0 متراً، ويساوي ارتفاعه 120.0 متراً.

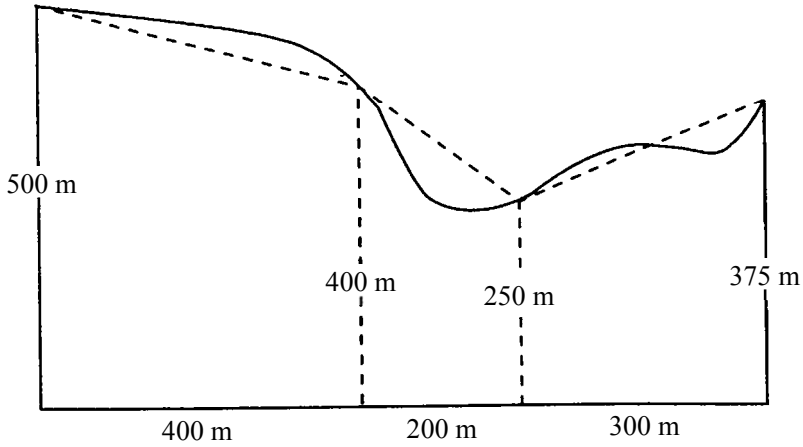
الحل:

$$\begin{aligned}
 A &= h \times \frac{a + b}{2} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} \\
 &= 120.0 \text{ m} \times \frac{300.0 \text{ m} + 450.0 \text{ m}}{2} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} \\
 &= 4,5000 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} = 4.5 \text{ ha}
 \end{aligned}$$

مسألة: احسب، بالهكتار، مساحة الحقل المبين في الشكل 19.13.

الحل: تساوي المساحة الكلية A_T مجموع مساحات أشباه المنحرفات (الخطوط المقطعة):

$$\begin{aligned}
 A_T &= \left(h_1 \times \frac{a_1 + b_1}{2} \right) + \left(h_2 \times \frac{a_2 + b_2}{2} \right) + \left(h_3 \times \frac{a_3 + b_3}{2} \right) \\
 &= \left(400 \times \frac{500 + 400}{2} \right) + \left(200 \times \frac{400 + 250}{2} \right) \\
 &\quad + \left(300 \times \frac{250 + 375}{2} \right) \\
 &= (400 \times 450) + (200 \times 325) + (300 \times 312.5) \\
 &= 180,000 + 65,000 + 93,750 = 338,750 \text{ m}^2 \\
 A_T(\text{ha}) &= 338,750 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} = 33.875 \text{ or } 33.9 \text{ ha}
 \end{aligned}$$

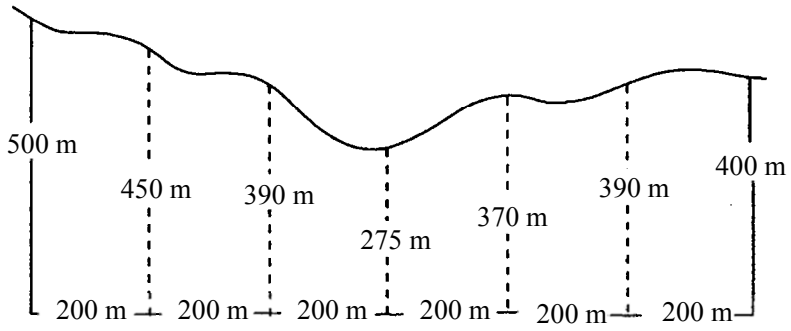


الشكل 19.13 مثال متري لاستعمال أشباه المنحرفات في حساب مساحة شكل غير منتظم.

مسألة: احسب، بالهكتار، مساحة الشكل غير المنتظم المبين في الشكل
20.13.

الحل:

$$\begin{aligned}
 A &= d \times \left(\frac{h_0}{2} + \sum h + \frac{h_n}{2} \right) \\
 &= 200 \text{ m} \times \left(\frac{500}{2} + (450 + 390 + 275 + 370 + 390) + \frac{400}{2} \right) \text{ m} \\
 &= 200 \text{ m} \times 2,325 \text{ m} = 465,000 \text{ m}^2 \\
 A(\text{ha}) &= 465,000 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} = 46.5 \text{ ha}
 \end{aligned}$$



الشكل 20.13 تطبيق معادلة جمع أشباه المنحرفات على حساب مساحة مترية لحقل ذي شكل غير منتظم.

14.

وصف الأراضي

1.14 الأهداف

1. فهم الطرائق الثلاث الشائعة في وصف الأراضي.
2. التمكن من استعمال المنظومة المستطيلة لقراءة الأوصاف القانونية وكتابتها.
3. التمكن من استعمال المنظومة المستطيلة لتحديد المساحة (بالإيكر) من وصف مدوّن.

2.14 تقديم

كانت ثمة حاجة منذ القدم إلى وصف حدود قطع من الأرض ووضع علامات لها. وثمة سجلات تقول إن المصريين طوّروا في نحو عام 1400 قبل الميلاد منظومة لإعادة تعليم حدود الأرض بعد كل فيضان. واستمرت الحاجة إلى تعليم ووصف حدود الأراضي حتى اليوم. فبغية نقل ملكية الأرض يجب أن يكون المرء قادراً على وصف الأرض موضوع الاهتمام، وتحديد موقعها. وفي الولايات المتحدة، ثمة حاجة إلى وصف وحيد لقطعة الأرض بهدف تحصيل ضرائب العقارات. وتُستعمل لهذا الغرض ثلاث منظومات رئيسية لتعريف حدود الأراضي ومواقعها. وتلك الطرائق هي التخوم والحدود، والكتلة

والحصة، ومنظومة مساحة الأراضي العامة (Public Land Survey System) (PLSS) المعروفة بالمنظومات المستطيلة.

3.14 التخوم والحدود

تقوم منظومة التخوم والحدود (Metes and Bounds) على الوصف اللفظي أو المدوّن للحدود باستعمال علامات أرضية مرئية حين إجراء المسح. ويتضمن الوصف نقطة بداية من قبيل صخرة أو شجرة أو وتد أو سارية، إضافة إلى أطوال واتجاهات لخطوط متتالية انطلاقاً من تلك النقطة. ويمكن للمسافات أن تكون مقدّرة بالخطوات أو وحدات شرائط القياس أو العصي أو القضبان. ومع تحسّن تقانة المساحة، استُعيض عن هذه الوحدات بالقدم والإنش والقدم العشرية والوحدات المترية. ويمكن للاتجاه أن يكون الشمال الحقيقي أو المغنطيسي أو أن يكون قائماً على شبكة. والاتجاه القائم على الشبكة هو المفضل. ولقراءة أو كتابة وصف للأرض باستعمال التخوم والحدود، يجب أن تكون الوحدات ونوع الاتجاه معروفة.

من أمثلة الأوصاف الشائعة للأرض ما يلي: "بدءاً من الصخرة الكبيرة التي تقع على بُعد نحو دقيقتي مشي من الجدول باتجاه الشمال، ثم 100 خطوة نحو الشرق إلى شجرة البلوط الأحمر، ثم 250 خطوة نحو الجنوب إلى صخرة كبيرة مطمورة جزئياً، ثم نحو الغرب إلى الجدول، ثم على طول الجدول نحو الشمال إلى نقطة البداية". ومن الواضح أن ثمة مشكلة في هذه الطريقة من حيث متابعة الحدود بعد عدد من السنين. فالجدول يمكن أن يغيّر مجراه، والأشجار يمكن أن تُقطع، والصخور يمكن أن تُنزع أو تُطمر في أثناء أعمال تسوية للأرض.

4.14 الكتل والحصص

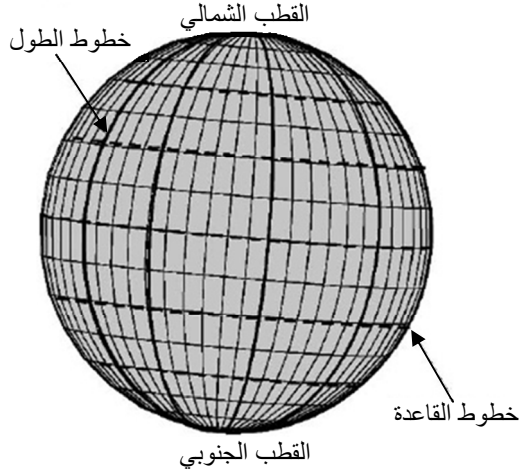
هذا النظام شائع جداً في المدن حيث تُرتَّب الأراضي على شكل حصص. توجد لدى مكتب سجلات بلدية المدينة دفاتر مخططات تعطي مواقع وأبعاد جميع الكتل والحصص فيها. وفي معظم المناطق، على المتعهدين تقديم تلك المخططات للمصادقة عليها قبل بدء عمليات البناء. ومن الأوصاف الشائعة التي من هذا النوع: "مخطط نادي ريفي، الكتلة 4، الحصة 23، الدفتر 543، الصفحة 201". وإضافة إلى ذلك، يمكن استعمال رقم الشارع لتعريف كل قطعة أرض.

5.14 النظام المستطيل

تُستعمل منظومة مسح الأراضي العامة، أو النظام المستطيل في 30 ولاية أميركية. وكان هذا النظام قد اعتمد في عام 1785 من قبل مجلس النواب لتقسيم الأراضي الجديدة الواقعة في الشمال الغربي من نهر أوهايو على نحو منطقي ومنهجي. يتألف النظام عموماً من شبكة تقسم الأرض بخطوط شمالية وجنوبية تتطابق مع خطوط الطول الحقيقية، مع خط قاعدة يتطابق مع خط عرض. انظر الشكل 1.14.

وتُضاف خطوط أخرى موازية لخط القاعدة تسمى الموازيات القياسية، وخطوط معامدة لخط القاعدة، تسمى خطوط الطول الدليلة، وذلك لتكوين رباعيات أضلاع على شكل مربع يساوي طول ضلعه 24 ميلاً. وأنشأت بضعة من أعمال النظام المستطيل المساحية الأصلية خطوطاً تساوي التباعدات بينها 30 ميلاً. وفيما بعد أصبح التباعد الذي يساوي 24 ميلاً هو المُعتمد. وفي هذه

المناقشة، سوف نستقصي مخططات المستطيلات المساحية ذات الـ 24 ميلاً فقط، وفيها تُقسَّم النواحي إلى 36 قطاع مساحة تساوي 640 إيكراً تقريباً، ويُجزأ كل قطاع إلى أجزاء أصغر.



الشكل 1.14 خطوط الطول والقاعدة (العرض).

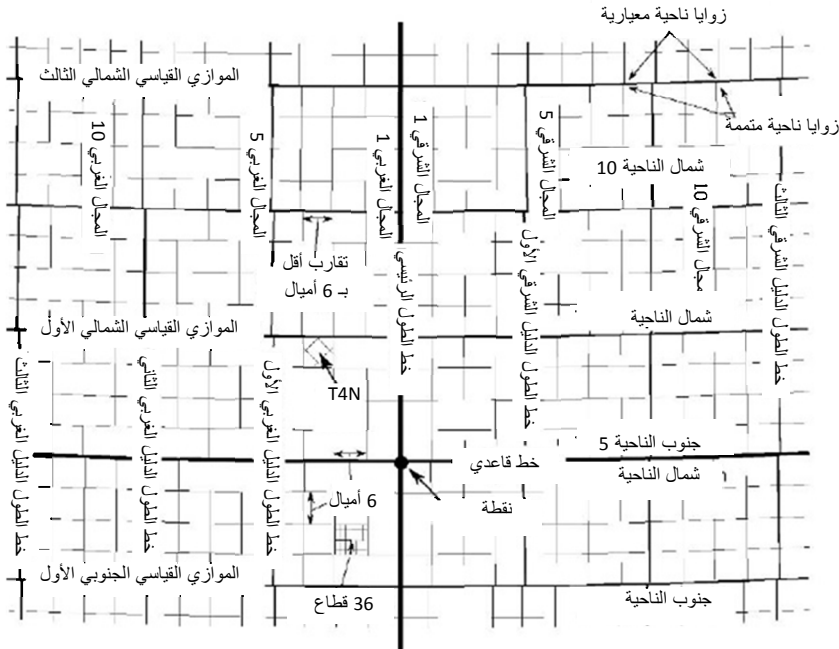
ونظراً إلى أن خطوط الطول تتقارب وتجتمع في القطبين، فإنه من المستحيل رياضياً تكوين شبكة متعامدة الخطوط فعلاً. ولذا استُعمل نظام تقسيم جزئي للتعويض عن تقارب خطوط الطول. وهذا هو سبب أن خطوط الطول الدليلة ليست مستمرة (انظر الشكل 2.14)، بل يجري تغييرها عند كل مواز قياسي. وفي ما يلي وصف للتقسيمات الجزئية:

1. **رباعي الأضلاع:** يساوي طول ضلع البقعة المربعة نحو 24 ميلاً.
2. **الناحية:** يحتوي كل رباعي أضلاع على 16 ناحية في بلدة، طول ضلع كل منها يساوي 6 أميال تقريباً.

3. القطاع: تُقسم الناحية إلى 36 قطاعاً طول ضلع كل منها يساوي نحو 1 ميل ويتألف من 640 إيكراً.

4. قطاع ربعي: يُقسم كل قطاع إلى قطاعات ربعية طول ضلع الواحد منها يساوي نصف ميل وتساوي مساحته 160 إيكراً. ويمكن تقسيم القطاعات الربعية إلى قطع أصغر تساوي مساحتها 80 أو 40 أو 20 أو 10 أو 5 إيكرات، أو تراكيب من هذه المساحات.

وكان المقصود من تلك التقسيمات هو تكوين قطع من الأرض طول ضلع الواحدة منها يساوي ميلاً واحداً. وأي اختلاف ناجم عن التقارب يوضع في العمود الغربي والصف العلوي من كل ناحية.



الشكل 2.14 النظام المستطيل العام للمساحة.

ولابدءاً عملية مسح أصلية أولى، حُدِّت نقطة أولية في كل منطقة جديدة بواسطة الأرصاد الفلكية. وقد جرى تحديد 37 نقطة أولية. ويمر عبر كل نقطة أولية خط قاعدة، وخط موازٍ فعلاً لخط العرض يمتد في الاتجاه من الشرق إلى الغرب، وخط طول رئيسي، وخط شمال جنوب حقيقي. ويمكن أن يُخصَّص خط الطول الرئيسي باسم أو رقم. وجرى مسح منطقة أوكلاهوما من خطي طول مختلفين هما خط الطول الهندي (في منطقة أوكلاهوما) وخط طول نهر سيمارون (ينطلق من نيومكسيكو إلى أوكلاهوما). وجرى أيضاً مسح المناطق، التي أصبحت ولايات كنساس وكولورادو ونبراسكا، من خط الطول الهندي الذي سُمِّي في تلك الولايات خط الطول الرئيسي السادس. ويبين الشكل 2.14 النظام المستطيل.

حُدِّت في الشكل 2.14 نقطة أولية وخط قاعدة وخط طول رئيسي. لاحظ أن رباعيات الأضلاع محدودة في الشمال والجنوب بموازيات حقيقية لخطوط العرض تسمى بالموازيات القياسية وتفصل بينها تباعدات تساوي 24 ميلاً، وهي مرقّمة تسلسلياً إلى الشمال والجنوب من خط القاعدة. على سبيل المثال، يقع أول خط قياسي مواز شمالي على بعد 24 ميلاً إلى الشمال من خط القاعدة، ويقع الخط القياسي الموازي الشمالي الرابع على بعد 96 ميلاً إلى الشمال من خط القاعدة. وتتبع الحدود الشرقية والغربية لرباعيات الأضلاع خطوط طول حقيقية، إلا أنها ليست مستمرة بسبب تصحيحات التقارب، ولذا تسمى خطوط طول دليلية. تساوي التباعدات في ما بين هذه الخطوط 24 ميلاً، وهي مرقّمة تسلسلياً إلى الشرق والغرب من خط الطول الرئيسي. بذلك يكون أول خط طول دليلي غربي على بعد 24 ميلاً إلى الغرب من خط الطول الرئيسي، ويقع خط الطول الدليلي الشرقي الثالث على بعد 72 ميلاً إلى الشرق من خط الطول الرئيسي.

ونظراً إلى أن خطوط الطول الدليلية هي خطوط طول حقيقية، فإنها تتقارب مع اقترابها من القطبين الشمالي والجنوبي. وهذا يجعل الجانب الشمالي من كل رباعي أضلاع أقصر قليلاً من 24 ميلاً. وللتعويض عن التقارب، توضع زاوية متممة عند تقاطع كل خط طول دليلي مع كل موازٍ قياسي أو خط قاعدة. وتسبب المسافة التي تتكوّن بين الزاوية المتممة والزاوية القياسية انزياحاً لخط الطول.

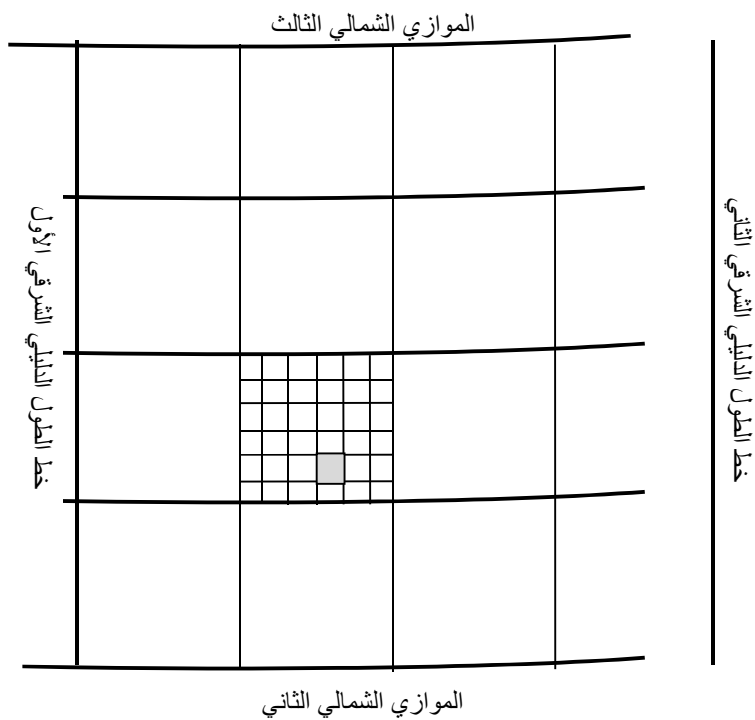
وتُحدّد النواحي البلدية في الشمال والجنوب بخطوط النواحي، وفي الشرق والغرب بخطوط المجال. وخطوط المجال هي خطوط طول حقيقية، ولذا تتقارب. ويساوي طول الحد الجنوبي لكل ناحية 6 أميال، أما الحد الشمالي فهو أقصر قليلاً. وتُنشأ زوايا متممة للنواحي بالطريقة عينها التي تُنشأ بها لرباعيات الأضلاع. وخطوط النواحي توازي خط القاعدة والموازيات القياسية.

وتُعرّف الناحية بوصف فريد يقوم على خط الطول الأساسي الذي تُنسب إليه. يسمى عمود النواحي الممتد بين الشمال والجنوب بالمجال. وتُرَقَّم المجالات تسلسلياً إلى الشرق والغرب من خط الطول الرئيسي. ويُسمى صف النواحي الممتد بين الشرق والغرب بالصف. وتُرَقَّم الصفوف تسلسلياً إلى الشمال والجنوب من خط القاعدة. وقد شاعت الاستعاضة عن الكلمة "صف" بالكلمة "ناحية" أو الحرف "T" في تسمية الصفوف.

وتُعرّف الناحية الواحدة برقمها وموقعها إلى الشمال أو الجنوب من خط القاعدة. وتُختصر تسمية الناحية عادة برمز من قبيل "T5N R3E" بالنسبة إلى خط الطول الرئيسي. وتقع هذه الناحية على بعد يساوي 24-30 ميلاً شمالاً و 12-18 ميلاً شرقاً بالنسبة إلى النقطة الأولية. ويُرَى الشكل 3.14

رباعي أضلاع مقسّم إلى نواحي، وناحية مقسّمة إلى قطاعات. وبناء على مناقشة سابقة، تُعرّف الناحية المقسّمة إلى قطاعات في الشكل 3.14 بالرمز T10N, R6E.

ويُري الشكل 4.14 طريقة لتقسيم الناحية إلى 36 قطاعاً على شكل مربعات طول ضلع كل منها يساوي ميلاً واحداً (مساحته تساوي 640 إيكراً). وتُرقّم القطاعات بدءاً من الزاوية الشمالية الشرقية للناحية، ويتّابع الترقيم بطريقة متلوّية. فإذا كانت عملية المساحة خالية من الخطأ، وهذا نادر جداً، تكون جميع القطاعات على شكل مربعات طول ضلع كل منها يساوي 1 ميل ما عدا تلك الموجودة على طول الحدين الغربي والشمالي للناحية. وأطوال أضلاع هذه القطاعات أصغر من ميل واحد بسبب تقارب خطوط المجالات، وبسبب أخطاء القياسات. ويُسمى القطاع المظلل في الشكل 4.14 "S21"، وتُرمز الناحية المبيّنة في الشكل 3.14 بـ T10N, R6W، خط الطول الرئيسي. ويكتب الوصف الكامل بالشكل: "S21, T10N, R6W, PM".

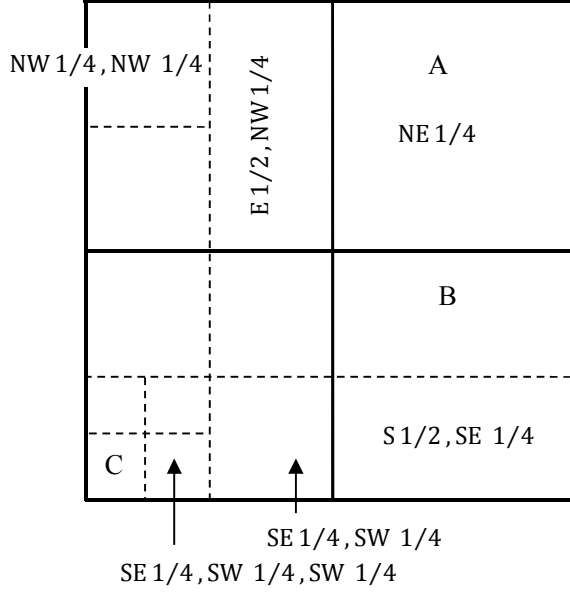


الشكل 3.14 تقسيمات رباعي الأضلاع والناحية.

6	5	4	3	2	1
7	8	9	10	11	12
18	17	16	15	14	13
19	20	21	22	23	24
30	29	28	27	26	25
31	32	33	34	35	36

الشكل 4.14 ترقيم القطاعات في الناحية.

ووفقاً للمبيّن في الشكل 5.14، يمكن تقسيم كل قطاع إلى قطع أصغر، مع وضع الشمال في أعلى الصفحة والشرق في يمينها. وتُشير الكسور إلى الجزء من القطاع موضوع الاهتمام، ويُستعمل الكسران $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{4}$ فقط إلا إذا استُعملت أعداد الحصص. ويبدأ وصف النظام المستطيل لأجزاء القطاعات بأصغر وحدة مساحة.



الشكل 5.14 تقسيمات القطاع.

مسألة: ما هي أوصاف الأجزاء A و B و C في الشكل 5.14؟

الحل:

A=NE 1/4, S23, T4N, R7E, Principal Meridian (خط طول رئيسي)

B=N 1/2, SE 1/4, S23, T4N, R7E, Principal Meridian

C=SW 1/4, SW 1/4, SW 1/4, S23, T4N, R7E, Principal Meridian.

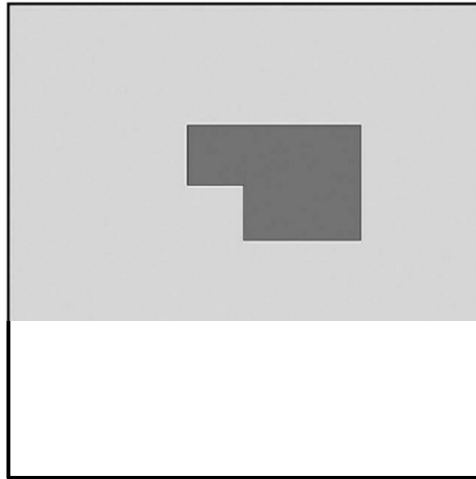
يُقرأ وصف الجزء A كالتالي: "الربع الشمالي الشرقي من القطاع 23 الواقع في الناحية A شمالاً والمجال السابع من خط الطول الرئيسي".

وليس من المألوف أن يمتد حقل على أكثر من جزء واحد من قطاع. وإذا حصل ذلك، استعمل الرمز & للربط بين الجزئين.

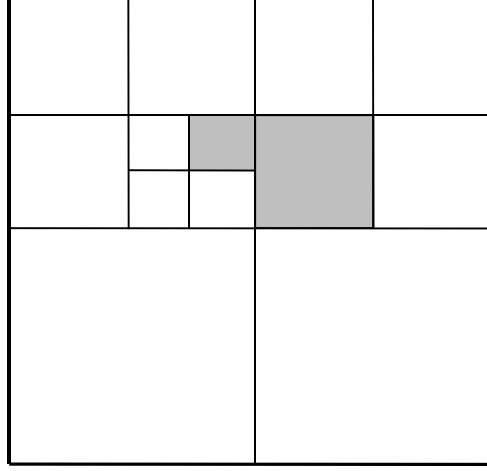
مسألة: ما هو وصف الحقل المبين في الشكل 6.14؟

الحل: NE1/4, SE1/4, NW1/4 & SW1/4,N,E1/4. انظر الشكل 7.14.

ويمكن استعمال وصف الأرض أيضاً لتحديد مساحة كل جزء من القطاع بالإيكر. ولتحديد المساحة، قسّم مساحة القطاع التي تساوي 640 إيكرًا على كل من مقامات الكسور.



الشكل 6.14 كسور جزء من قطاع باستعمال $\frac{1}{2}$.



الشكل 7.14 حل كسور القطاع باستعمال &.

مسألة: كم تساوي مساحات الأجزاء A و B و C المبينة في الشكل 5.14، مقدرًا بالإيكر؟
الحل: نظراً إلى أن مساحة القطاع تساوي 640 إيكرًا عادة، تساوي المساحات ما يلي:

$$A: 640 \times \frac{1}{4} = 160 \text{ ac}$$

$$B: 640 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = 80 \text{ ac}$$

$$C: 640 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = 10 \text{ ac}$$

6.14 مسائل بالوحدات المترية

لا تُستعمل منظومة مساحة الأراضي العامة (PLSS) إلا في الولايات المتحدة الأميركية، ولا نظير لها في المنظومة المترية.

15.

قياس المناسيب التفاضلية والمطلقة

1.15 الأهداف

1. التمكن من وصف التجهيزات المستعملة في قياس المناسيب التفاضلية والمطلقة.
2. فهم المصطلحات المستعملة في قياس المناسيب التفاضلية والمطلقة.
3. التمكن من قراءة المسطرة المساحية.
4. التمكن من تحديد مصادر الخطأ الشائعة في قياس المناسيب وضبطها.
5. التمكن من وصف عمليات قياس المناسيب التفاضلية والمطلقة.
6. التمكن من تسجيل ملاحظات عن قياس المناسيب التفاضلية والمطلقة.

2.15 تقديم

قياس المناسيب هو عملية تحديد ارتفاعات نقاط على سطح الأرض أو فوقه أو تحته. ويمكن استعمال أنواع مختلفة كثيرة من المسح في تحقيق ذلك تبعاً للنتائج المتوخاة. وقياس المناسيب التفاضلية والمطلقة هما طريقتان مساحيتان مفيدتان جداً في المشاريع الزراعية والبستنة. فهما مفيدتان في التخطيط للمشاريع وإقامتها، وتُستعملان في تخطيط المشاريع بهدف توفير المعلومات

اللازمة لوضع المخططات والرسومات اللازمة لإنشاء المباني والطرق ومصارف المياه وغيرها. ويمكن استعمالها أيضاً في رسم الحدود والخطوط والمناسيب اللازمة لتلك البنى. ويقع قياس المناسيب التفاضلية والمطلقة بعد قياس المسافة في الأهمية من حيث كونه تقنية مساحية. وفي هذا الفصل سوف نناقش المصطلحات والتجهيزات والإجراءات لنوعَي قياس المناسيب.

3.15 مصطلحات قياس المناسيب

1.3.15 علام المنسوب المرجعي

علام المنسوب المرجعي هو شيء يكون ارتفاعه عن مستوى البحر الوسطي معلوماً أو يفترض أن يكون كذلك. ويجب أن يكون علام المنسوب المرجعي مستقر الأبعاد لأنه النقطة المرجعية لجميع المناسيب المقاسة في عملية المسح. وإذا تغير ارتفاع العلام المرجعي مصادفة، وجب إعادة إجراء جميع المسوحات التي اعتمدت عليه. وتمكّن نقاط المناسيب المرجعية من إعادة المسح في وقت لاحق، وتسمح أيضاً بربط الارتفاعات المحددة في مسح جديد بتلك التي تحدّدت في مسوحات سابقة. لذا تُمكن إقامة شبكة من النقاط المرجعية على منطقة واسعة، مع ربطها جميعاً بالنقطة المرجعية نفسها. ويمكن لعلامات المناسيب المرجعية أن تختلف بمواصفاتها وديمومتها تبعاً لعملية المسح التي توضع من أجلها. وقد قامت هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (U.S. Geological Survey) (USGS) بإنشاء شبكة علامات مناسيب مرجعية في كافة أنحاء الولايات المتحدة، وجميعها منسوب إلى المستوى الوسطي لسطح البحر. وتتألف تلك العلامات من أقراص برونزية وُضعت في نُصُب خرسانية، تشبه إشارات حق المرور، مثبتة بشدة في الأرض. وحُفر فيها

تاريخ المسح والارتفاع ورقم العلام المرجعي. وقد وُفِّر اعتماد منظومة تحديد الموقع العامة الفضائية باستخدام الأقمار الصناعية (GPS) في أعمال المساحة وسيلة إضافية لإنشاء العلامات المرجعية.

وفي كثير من الحالات ليس من الضروري معرفة الارتفاع الحقيقي فوق مستوى سطح البحر. وفي تلك الحالات، تُستعمل علامات مرجعية محلية. وغالباً ما يُعطى ارتفاع العلام الذي من هذا النوع القيمة 100.00 قدم. فإذا كانت التضاريس كثيرة الهضاب والتلال، وجب على المساح استعمال عدد كبير من ارتفاعات البدء، لأن من غير المألوف استعمال أعداد سالبة للارتفاعات في المسوحات الشائعة.

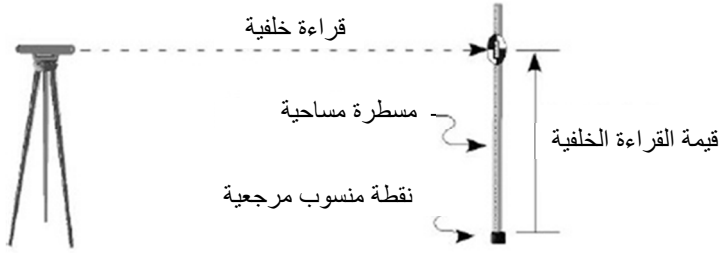
وحين استعمال علام منسوب مرجعي محلي، على فريق المساحة تحديد موقعه. وحينئذ يجب اتباع قاعدتين. فالعلام المنتقى يجب: (1) أن يدوم ما دامت الحاجة إليه قائمة، وألا يكون من الممكن إزاحته أو تدميره بسهولة، (2) وأن يكون من الممكن وصفه بطريقة تُمكن من العثور عليه بسهولة. ومن العلامات المرجعية المألوفة علامة X محفورة على كتلة إسمنتية أو على دعامة جسر، أو وتد حديدي مغروز جيداً في الأرض، أو غطاء ثقب في الأرض خاص بشبكة الكهرباء أو الصرف الصحي. ومهمة حامل السجل أن يسجل بدقة اسم ورقم ونوع وارتفاع وموقع كل نقطة مرجعية، وذلك على الصفحة اليمنى في دفتر المساحة.

2.3.15 القراءة الخلفية

القراءة الخلفية هي قيمة تُقرأ على المسطرة فوق نقطة ارتفاعها معلوم أو مفترض. وهي المسافة العمودية بين خط النظر المار عبر الجهاز والنقطة ذات

الارتفاع المعلوم أو المفترض التي توضع المسطرة عليها. وحين استعمال قضيب فيلادلفيا أو غيره من المساطر المشابهة، تكون المسافة العمودية المقاسة مقدرة بالقدم العشرية.

تُستعمل القراءة الخلفية لتحديد ارتفاع جهاز القياس. انظر الشكل 1.15. وتؤخذ القراءة الخلفية دائماً اعتماداً على علامة منسوب مرجعي أو نقطة انتقالية. وتُستعمل القراءة الخلفية للنقطة الانتقالية لمتابعة المسح في ما بعد موقع الجهاز الأولي. وليس ثمة من صلة للقراءة الخلفية بالاتجاه الذي يوجّه الجهاز إليه. ومن المهم أن نتذكّر أنه ليس ثمة إلا قراءة خلفية واحدة لكل عملية نصب للجهاز.



الشكل 1.15 قراءة خلفية لمسطرة مساحية.

3.3.15 ارتفاع جهاز القياس

ارتفاع جهاز القياس هو ارتفاع خط النظر المار عبره حين تثبيته فوق منصب ثلاثي القوائم وضبط أفقيته.

ويتحدّد هذا الارتفاع بجمع قيمة القراءة الخلفية المأخوذة من المسطرة مع ارتفاع النقطة التي أخذت القراءة الخلفية فيها. في الشكل 2.15، يساوي ارتفاع

الجهاز 105.1 أقدام لأن خط النظر المار عبر الجهاز أعلى من النقطة المرجعية بـ 5.01 أقدام.

4.3.15 القراءة الأمامية

القراءة الأمامية هي قيمة تُؤخذ من المسطرة فوق أي نقطة ذات ارتفاع مجهول. وفي قياس المنسوب التفاضلي، ثمة قيمة أمامية واحدة فقط لكل عملية نصب للجهاز، في حين أنه يوجد في قياس المنسوب المطلق كثير من القراءات الأمامية لكل عملية نصب للجهاز.

تُطرح القراءة الأمامية من ارتفاع الجهاز لتحديد ارتفاع نقطة مجهول. وفي الشكل 3.15، تُطرح قيمة القراءة الأمامية 3.21 أقدام من ارتفاع الجهاز الذي يساوي 105.1 أقدام، فيكون ارتفاع النقطة المجهول 101.8 قدم.



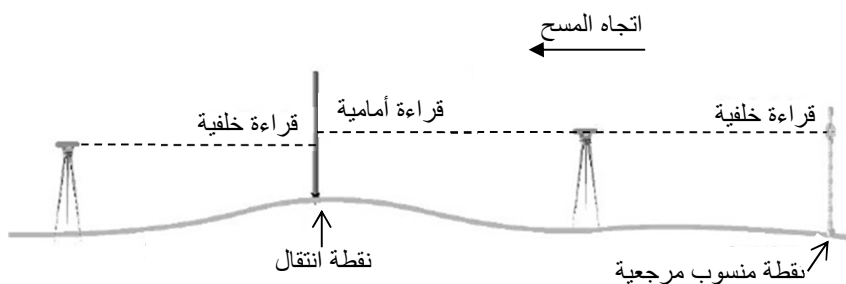
الشكل 3.15 قراءة أمامية.

5.3.15 النقطة الانتقالية

النقطة الانتقالية هي نقطة مرجعية مؤقتة تُستعمل لتمديد عملية المسح إلى مسافة أبعد. وهي تُستعمل كلما كان من الضروري نقل الجهاز. ففي كل مرة يُنقل الجهاز فيها إلى موقع مختلف، تُؤخذ قراءة خلفية عند نقطة انتقالية لتحديد

ارتفاع جديد للجهاز. وتُستعمل النقاط الانتقالية عادة حيثما لا يكون من الممكن رؤية نقطة البداية ونقطة النهاية من موقع واحد للجهاز.

يتحدّد العدد الأعظمي للنقاط الانتقالية بالمسافة القصوى التي يغطيها الجهاز، والمسافة المقطوعة، واختلافات التضاريس. انظر الشكل 4.15. ويجب انتقاؤها بعناية وعدم تحريكها حتى اكتمال المسح. ويجب أن يكون الشيء المستعمل لتمثيل النقطة الانتقالية مستقر الأبعاد على غرار نقطة المنسوب المرجعية. ويجب استعمال وتد أو بنية دائمة من قبيل الكتلة الإسمنتية. لا تضع المسطرة على الأرض حين إنشاء نقطة انتقالية، ففعل ذلك يمكن أن يؤدي إلى خطأ جسيم.



الشكل 4.15 نقطة انتقال.

4.15 أجهزة المساحة

يُستعمل في الأعمال المساحية جهاز قياس للمسافة والارتفاع مع مسطرة مساحية. وأكثر أنواع وسائل المساحة شيوعاً هو منظار المهندس الذي يحتوي على خطين متصاليين، أحدهما أفقي وآخر عمودي، إضافة إلى فقاعة كحولية أو أكثر لتحديد أفقية قاعدة الجهاز (فقاعة ضمن أنبوب مملوء بسائل). ويمكن

تحديد أفقية المجموعة بكاملها، والتي تتألف من الحامل والمنظار وفقاعة الأفقية بتدوير ثلاثة أو أربعة براغٍ تُمسك بالحامل الثلاثي القوائم في موضعه.

ومن الوسائل المساحية الأخرى ميزان الأفقية اليدوي الذي يتألف من فقاعة كحولية لتحديد الأفقية مع مجموعة من خطين متصالبين. ويمكن النماذج التي هي أكثر تطوراً أن تحتوي على مجموعات من خطين متصالبين لقياس المسافات مع قرص مدرّج لقراءة زوايا الاتجاه مباشرة.

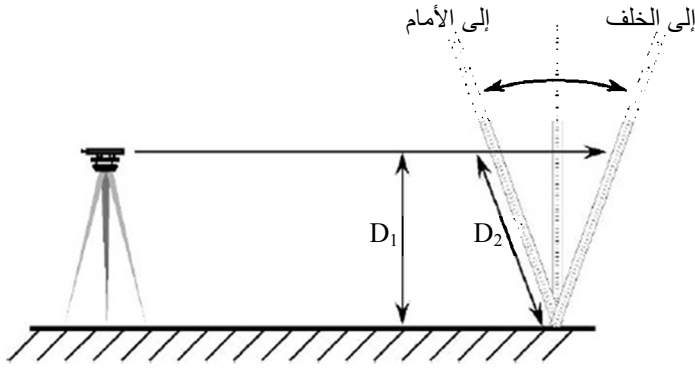
أما المسطرة المساحية الشائعة فهي مسطرة خشبية بُعِدَا مقطعها العرضاني يساويان 1 و 2 إنش، ويساوي طولها نحو 14 قدماً. وهي مدرّجة بالأقدام وبأجزاء من العشرة ومن المئة من القدم. وثمة مساطر أيضاً مدرّجة بالأقدام والإنشات والأمتار والسنتيمترات. وتُستعمل المساطر المساحية لقياس المسافة الشاقولية بين خط النظر المار عبر المنظار والشيء الذي تتوضّع عليه المسطرة.

5.15 ضبط عمودية المسطرة

تُستعمل المسطرة لقياس المسافة العمودية بين خط النظر المار عبر المنظار والشيء الذي ترتكز عليه. ولتحقيق قياس دقيق، يجب أن توضع المسطرة على نحو قائم تماماً، ويمثّل عدم تحقيق تلك الوضعية العمودية خطأ شائعاً في عمليات المساحة. وأسهل طريقة لضمان كون المسطرة عمودية هي استعمال ميزان أفقية المسطرة. وإذا لم يكن هذا الميزان متوافراً، يمكن لعامل المنظار الطلب إلى عامل المسطرة تحريكها يميناً ويساراً حتى تتطابق مع الخط المتصالب العمودي في الجهاز. أما الوضعية العمودية باتجاه الأمام والخلف، فيجب أن تُضبط من قبل عامل المسطرة نفسه. وحين عدم توافر ميزان أفقية،

يمكن ضبط الوضعية العمودية للمسطرة بتحريكها إلى الأمام والخلف بالنسبة إلى مركز توضعها. ويُسجّل عامل الجهاز أصغر مسافة يراها عليها، وتدل حينئذ تلك المسافة على أن المسطرة عمودية في الاتجاهين الأمامي والخلفي. انظر الشكل 5.15.

وتتحقّق أصغر قيمة للمسافة عندما تكون المسطرة عمودية، فالمسافة D_1 هي دائماً أصغر من المسافة D_2 .

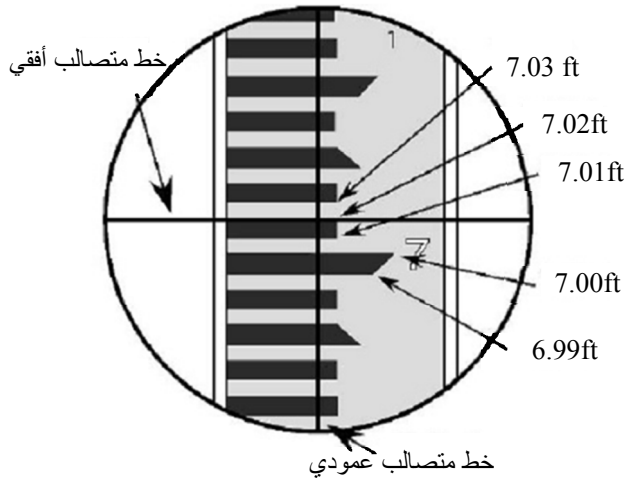


الشكل 5.15 ضبط عمودية المسطرة باتجاهي الأمام والخلف.

6.15 قراءة قضيب فيلادلفيا

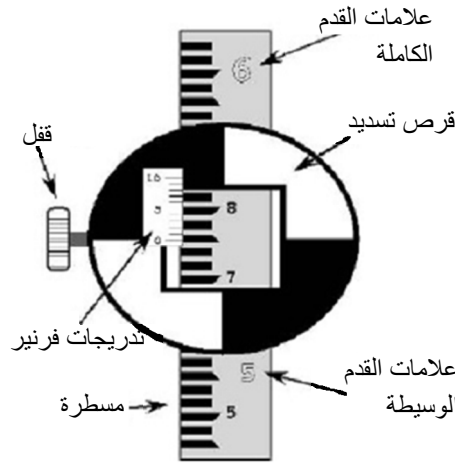
تُعرف أكثر المساطر المساحية شيوعاً بقضيب فيلادلفيا، وهو قضيب مؤلف من مقطعين طول كل منهما 7 أقدام تقريباً، ويمكن تمديده ليعطي قراءات مستمرة من الصفر عند القاعدة حتى 13.00 قدماً في الأعلى. وتتكوّن التدريجات من علامات سوداء مطلية على خلفية بيضاء. ويساوي عرض العلامة السوداء 0.01 قدم، وتفصل بين العلامات مسافات تساوي الواحدة منها 0.01 قدم. ويسمح مقياس العلامة هذا بقراءة المسافة حتى أقرب 0.01 قدم لمسافات تصل حتى 250 قدماً. ويُشار إلى أعشار القدم بأعداد سوداء، ويُشار

إلى القدم بعدد ذي مقاس أكبر. ويُشار إلى مسافة القدم عادة أيضاً بعدد صغير بين علامات القدم الكاملة. فمثلاً، تُقرأ المسافة المبينة في الشكل 6.15 بالصيغة 7.02 أقدام.



الشكل 6.15 قراءة قضيب فيلادلفيا من خلال المنظار.

عندما يكون بُعد المسطرة عن المنظار أكبر من 250 قدماً، أو عندما لا تُمكن قراءة المسطرة مباشرة لأي سبب، يجب استعمال قرص تسديد. يبيّن الشكل 7.15 قرص التسديد، وهو قرص دائري أو بيضوي مقسّم إلى أرباع ملوّنة بالأحمر والأبيض بالتناوب. فعندما لا تُمكن قراءة المسطرة مباشرة، يمكن لعامل المنظار أن يُرسل إشارة إلى عامل المسطرة أن يرفع ويُخفّض قرص التسديد إلى أن يتطابق مع الخط المتصالب الأفقي في المنظار. ويمكن حينئذ أن يقرأ عامل التسجيل المسافة من المسطرة. ويوجد في قرص التسديد أيضاً سلمٌ تدريجات فيرنيه (Vernier Scale) يسمح بقراءات بدقة 0.001 قدم. وتساوي القيمة المبينة في الشكل 5.753 أقدام.



الشكل 7.15 قراءة المسطرة باستعمال قرص التسديد.

7.15 إعداد جهاز المساحة للاستعمال

يُستعمل كثير من الأجهزة المتنوعة في الأعمال المساحية. والإجراء التالي الذي يخص إعداد منظار المهندس المساحي للاستعمال يصلح أيضاً لتحضير معظم الأنواع الأخرى. عندما لا يكون الجهاز قيد الاستعمال، يجب أن يكون موضوعاً في علبته لحمايته. وللاستعماله، يُخرج من العلبة ويُثَبَّت بالبراغي بعناية على منصة المنصب الثلاثي القوائم. وتُجعل الفُرجة بين قوائم المنصب نحو 4 أقدام، وتُثَبَّت القوائم على الأرض تثبيتاً متيناً، وذلك لتوفير قاعدة مستقرة للجهاز وللمساعدة على تحقيق مسح دقيق. وإذا جرى وضع المنصب الثلاثي القوائم بحيث تكون منصته أفقية تقريباً، أمكن تحقيق أفقية الجهاز على نحو أسهل وأسرع.

ولتحقيق أفقية منظار رباعي الأرجل (أربعة براغٍ لتحقيق الأفقية)، يوضع المنظار فوق زوج من براغي تحقيق الأفقية ويُحرَّك حتى تتخذ الفقاعة وضعية

مركزية. ويُدَوَّر البرغيان باتجاهين متعاكسين. وتُسْرَع عملية تحقيق الأفقية حين استعمال قاعدة الإبهام الأيسر، حيث تتحرَّك الفقاعة باتجاه الإبهام الأيسر. ثم يُوضَع المنظار فوق زوج البراغي الآخر ويُمرَّك ثانية. وتُكرَّر هذه الإجرائية حتى تبقى الفقاعة في المركز مهما كانت وضعية المنظار. ويجب عدم شد البراغي أكثر من اللازم كي لا تتماسك وتولَّد إجهادات كبيرة في إطار الجهاز، أو أقل من اللازم كي لا يتحرك الجهاز ويفقد أفقيته.

أما حين تحقيق أفقية جهاز ثلاثي الأرجل (ثلاثة براغ)، فيوضع المنظار فوق أيٍّ من البراغي الثلاثة، وتُضبط أفقيته بواسطة البراغي والفقاعة. وعندما تتحقَّق الأفقية، يُدَوَّر المنظار ببطء لفحص دقة أفقيته.

8.15 مصادر الخطأ الشائعة في وضعية الجهاز

يمكن تحسين دقة الوضعية الأفقية للجهاز كثيراً إذا جرى الحد من عدد من مصادر الخطأ:

1. **الجهاز غير مضبوط:** في كل مرة يتعرض فيها الجهاز إلى صدمة أو يُنقل إلى مكان آخر، تجب إعادة ضبط أفقيته. ومن الممارسات الجيدة للضبط التدقيق في وضعية فقاعة الأفقية قبل وبعد قراءة المسطرة. **ملاحظة:** إعادة ضبط الأفقية قد تُغيِّر من ارتفاع الجهاز. لذا يجب فحصه، وإذا كان الارتفاع مختلفاً، وجب تكرار بعض القياسات السابقة أو جميعها.

2. **المسطرة ليست عمودية:** يجب أن تكون المسطرة عمودية دائماً، ويمكن تحقيق ذلك باستعمال ميزان أفقية المسطرة، أو بتحريكها إلى الأمام والخلف وفقاً لما شرحناه سابقاً في فقرة قراءة المسطرة. والطريقة الجيدة

للحفاظ على عمودية المسطرة هي الوقوف وراءها وموازنتها بعناية بالإمساك بها باليدين برفق من الجانبين.

3. اختلاف المنظر: يحصل اختلاف المنظر إذا بدا أن الخطين المتصالبين يتحركان حول الشيء حين انزياح العين قليلاً. وعندما يحصل ذلك، قد لا يكون خط النظر المنطلق من العين موازياً لخط نظر الجهاز. ويُلغى مصدر الخطأ هذا بضبط عينية المنظار حتى يُصبح الخطان المتصالبان غامقين تماماً. ونظراً إلى ضرورة ضبط العينية لكل شخص على حدة، فإن الممارسة السليمة تقتضي أن يقوم شخص واحد فقط بأخذ كل القراءات في عملية المسح الواحدة.

4. عدم تساوي القراءتين الخلفية والأمامية: إذا كانت الظروف الحقلية ملائمة، وجب أن تكون مسافتا القراءتين الخلفية والأمامية متساويتين ما أمكن تقريباً. بذلك فإن الأخطاء التي تنجم عن كون الجهاز غير مضبوط تُصبح أصغرية لأنها تتفانى معاً.

5. قراءة المسطرة على نحو خاطئ: يجب أن يكون الشخص الذي يقرأ المسطرة متنبهاً جيداً لضمان أنه يقرأ القيمة الصحيحة من المسطرة وأنه يستعمل قرص التسديد استعمالاً صحيحاً.

9.15 تسجيل المعلومات المساحية في الحقل

طوّر المهندسون والمساحون إجراءات معيارية لتسجيل المعلومات المساحية، لأن من الضروري أن تكون تلك المعلومات واضحة وكاملة وسهلة القراءة. ويستعمل المساحون المحترفون أجهزة إلكترونية كلما أمكن ذلك. وتسجل تلك الأجهزة البيانات وترسلها إلى مجمّعات بيانات أو حواسيب بغية معالجتها واستعمالها. كما يسجل المصنّع إجراءات تجميع البيانات وصيغتها.

وما زال الدفتر الحقلي قيد الاستعمال في حالة المشاريع الصغيرة، وحين استعمال الأجهزة الميكانيكية. يُقسّم الدفتر الحقلي إلى صفحات يمنى وصفحات يسرى. وتحتوي الصفحة اليسرى على العنوان والموقع والبيانات. وتُستعمل الصفحة اليمنى لتسجيل معلومات عن الطقس وفريق المساحة والتجهيزات، إضافة إلى وصف لموقع نقاط المناسيب المرجعية والنقاط الانتقالية والأنهار وسور وحدود العقار، وأي معلومات أخرى يمكن أن تؤثر في تصميم البنية التي يُجرى المسح من أجلها. ويُدرج أيضاً ضمن الملاحظات موقع النقطة المرجعية أو نقطة البدء. ويمكن أن تتضمن أيضاً مخططاً للموقع العام يُبين موقعي نقطتي بداية عملية المسح ونهايتها، والعلامات المرجعية والقنوات والطرق والمعالم الأرضية الأخرى. انظر الشكل 8.15.

النصف الأيسر			النصف الأيمن	
العنوان والموقع			حالة الطقس	رقم الصفحة
بيانات			التجهيزات ومواصفاتها	أسماء أعضاء فريق العمل ومهامهم
تدقيق الأخطاء			مخطط	
معادلات			وصف العلامة المرجعية وأي ملاحظات أخرى	
				التوقيع

الشكل 8.15 صيغة معيارية معتمدة لصفحة بيانات مساحية حقلية.

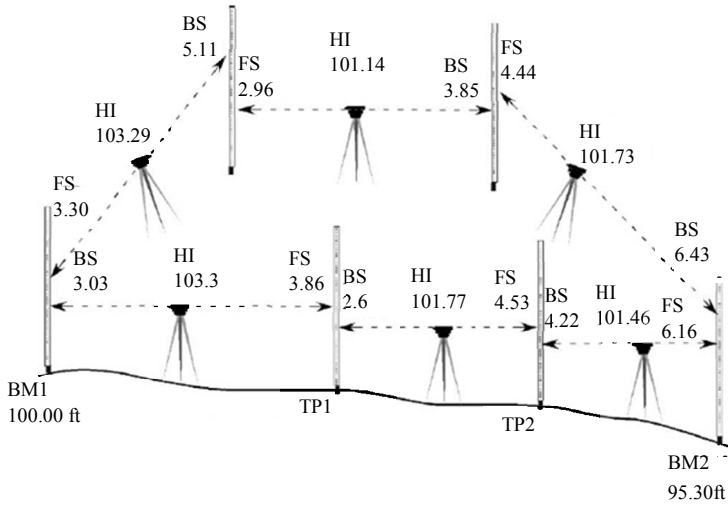
وتقتضي ممارسة الأعمال المساحية التدقيق في البيانات كلما كان ذلك ممكناً. وفي قياس المناسيب التفاضلية، تُفحص الدقة بـ "إغلاق الحلقة". وهذا يعني إعادة القياس إلى الوراء حتى البداية. وحين اكتمال عملية القياس التفاضلي، يجب أن يعطي القياس من نقطة علاّم المنسوب المرجعي BM1 إلى النقطة المرجعية BM2 فرق الارتفاع نفسه كالقياس من النقطة BM2 إلى النقطة BM1. لكن هذا نادراً ما يتحقق بسبب وجود بعض الأخطاء دائماً في قياس المناسيب. ويُسمى الفرق بين قيمتي الارتفاع BM1 المسجلة في البداية و BM2 المقاسة عند إغلاق الحلقة بخطأ الإغلاق. ويجري إغلاق القياس

باتباع الإجراء نفسه المتبع في القياس الأول. فالجهاز يُرفع من مكانه ويُنقل ثم يُحضّر ثانية وتُضبط أفقيته وتُؤخذ قراءة خلفية من النقطة BM2. ويجري إكمال القياس باستعمال القراءات الخلفية والأمامية بحسب الحاجة حتى العودة إلى النقطة BM1.

10.15 قياس المنسوب التفاضلي

قياس المنسوب التفاضلي هو عملية إيجاد الفرق بين ارتفاعي نقطتين أو أكثر. وعندما تكون النقطتان ضمن حدود رؤية الجهاز، تُؤخذ قراءتان. ويُمثّل الفرق بين قراءتي المسطرة فرق ارتفاعي النقطتين. وعندما تكون نقطة أو أكثر خارج مجال رؤية الجهاز، تُستعمل نقاط انتقالية.

من أكثر تطبيقات قياس المنسوب التفاضلي شيوعاً تكوين حلقة من قراءات ارتفاعات علامات المنسوب المرجعية بالنسبة إلى علامة منسوب مرجعي كان قد أنشئ سابقاً. وسوف نصّف إجراءات قياس المنسوب التفاضلي باستعمال هذا النوع من الحلقة المبينة في الشكل 9.15. يتضح من المخطط أنه قد جرى نصب الجهاز ثلاث مرات حين الانتقال من نقطة علامة المنسوب المرجعي BM1 إلى علامة المنسوب المرجعي BM2. لاحظ أيضاً أنه قد أُجري تدقيق بالعودة من BM2 إلى BM1، وأنه قد أُجري إعداد للجهاز ثلاث مرات أخرى في هذا الطور من القياس.



BM: علّام مرجعي، TP: نقطة انتقالية، BS: قراءة خلفية، FS: قراءة أمامية، HI: ارتفاع الجهاز

الشكل 9.15 قياس مناسيب تفاضلية.

يبدأ المسح بمشي عامل الجهاز مسافة مناسبة إلى الأمام (لا تتجاوز المسافة القصوى التي يقيسها الجهاز) ويقوم بتحضير الجهاز ومقياس المنسوب باتّباع الإجراء الموصوف سابقاً. وينظر عامل الجهاز إلى المسطرة وهي فوق علّام المنسوب المرجعي BM1 بين يدي عامل المسطرة، ويجد أن الخطين المتصالبين يُشيران إلى 3.03 أقدام. وهذه هي القراءة الخلفية BS، ولذا تُضاف قراءة المسطرة 3.03 أقدام إلى ارتفاع العلّام المرجعي BM1 (التي افترض أنها تساوي 100.00 قدم)، فينتج ارتفاع للجهاز HI يساوي 103.03 أقدام. ثم ينتقل عامل المسطرة إلى الأمام متجاوزاً الجهاز ويختار نقطة انتقالية TP1. وتساوي القراءة الأمامية FS لهذه النقطة 3.86 أقدام. وتُطرح القراءة الأمامية من الارتفاع HI فينتج ارتفاع TP1 الذي يساوي 99.17 قدماً. ويُنقل الجهاز الآن إلى الأمام لنصبه في موقع جديد. ويقرأ قراءة خلفية BS تساوي 2.60 قدمين للنقطة TP1، وتُضاف هذه القيمة إلى ارتفاع TP1 الذي يساوي

99.17 قدماً فينتج ارتفاع الجهاز الذي يساوي 101.77 قدم. وتختار نقطة انتقالية أخرى TP2، وتؤخذ قراءة أمامية FS من المسطرة فينتج أنها تساوي 4.53 أقدام. وتطرح قراءة المسطرة هذه من ارتفاع الجهاز HI الذي يساوي 101.77 قدم، فينتج ارتفاع النقطة TP2 الذي يساوي 97.24 قدماً. وتكرر العملية مرة ثالثة، ويتبين أن ارتفاع نقطة المنسوب المرجعية BM2 يساوي 95.30 قدماً. وقد عُرف الآن أن الفرق بين ارتفاعي النقطتين BM1 و BM2 يساوي $100.00 \text{ ft} - 95.30 \text{ ft} = 4.7 \text{ ft}$ ، بافتراض عدم حصول أي خطأ.

الخلاصة هي أن إجراء قياس المنسوب التفاضلي يحصل وفقاً لما يلي:

1. انصب الجهاز وحضره.
2. خذ قراءة خلفية لعلام المنسوب المرجعي BM1.
3. حدد نقطة انتقالية TP وخذ قراءة أمامية FS.
4. انقل الجهاز، وحضره مرة أخرى.
5. خذ قراءة خلفية BS ل TP.
6. حدد نقطة انتقالية TP أخرى، وخذ قراءة أمامية FS.
7. انقل الجهاز وحضره مرة أخرى.
8. كرر الخطوات 5-7 حتى تأخذ قراءة أمامية في آخر موقع.

الجدول 1.15 بيانات مثال لقياس المنسوب التفاضلي.

المحطة	القراءة الخلفية	ارتفاع الجهاز	القراءة الأمامية	ارتفاع المحطة
BM1	3.03			100.00
		103.03		
TP1	2.60		3.86	99.19
		101.77		
TP2	4.22		4.53	97.24
		101.46		
BM2	6.43		6.16	95.30
		101.73		
TP3	3.85		4.44	97.29
		101.14		
TP4	5.11		2.96	98.18
		103.29		
BM1			3.30	99.99

وتُسجَل بيانات قياس المناسيب التفاضلية في جدول بيانات على غرار الجدول 1.15. وتتألف الصفحة اليسرى من دفتر المسح الحقلي من خمسة أعمدة: للمحطة STA والقراءة الخلفية BS وارتفاع الجهاز HI والقراءة الأمامية FS وارتفاع المحطة ELEV. وتُمكن إضافة أعمدة أخرى بحسب الحاجة إلى تسجيل معلومات إضافية، مثل مسافة كل قراءة.

1.10.15 الحد من الأخطاء

من الضروري الحد من الأخطاء في أثناء المسح ما أمكن. وفي ما يخص قياس المناسيب التفاضلي، ثمة ثلاثة أنواع من التدقيق في الأخطاء يجب إجراؤها: تدقيق الحلقة المغلقة، وتدقيق القيم المدونة، وحساب خطأ الإغلاق

المسموح به. تُغلق حلقة المسح بغية توفير معلومات للنوعين الآخرين من التدقيق. ويُجرى تدقيق القيم المدوّنة لكشف أي خطأ حسابي فيها. ولتدقيق تلك القيم، يجب أن يساوي الفرق بين القيمة المطلقة لمجموع القراءات الأمامية والقيمة المطلقة لمجموع القراءات الخلفية القيمة المطلقة لفرق الارتفاع Δ في BM1 (ارتفاع البداية والإغلاق). ويُعبّر عن ذلك رياضياتياً بالعلاقة:

$$|\sum FS - \sum BS| = |\Delta H \text{ BM1}|$$

حيث $\Delta H \text{ BM1}$ هو فرق الارتفاع في نقطة علامّ المنسوب المرجعي BM1.

مسألة: هل القيم الحقلية المدوّنة في الجدول 1.15 دقيقة؟

الحل:

$\sum BS$	$\sum FS$
3.86	3.03
4.53	2.60
6.16	4.22
4.44	6.43
2.96	3.85
3.30	5.11
25.25	25.24

$$\left| \sum FS - \sum BS \right| = |\Delta H \text{ BM1}|$$

$$|\Delta H \text{ BM1}| = |BM1_b - BM1_e|$$

$$|25.25 - 25.24| = |100.00 - 99.99|$$

$$0.01 = 0.01$$

أعطى تدقيق القيم المدونة أنها صحيحة، وهذا يعني أن فرق ارتفاع MB1 ليس ناجماً عن خطأ حسابي في جدول البيانات. والخطأ الذي يُكتشف بعد وقوعه غير قابل للتصحيح، ولذا فإن الخطوة التالية هي تحديد إن كان الخطأ مقبولاً.

والنوع الثالث من التدقيق هو تدقيق الإغلاق. لقد حُدِّت قيمة مسموح بها لخطأ الإغلاق لأن المساحين أدركوا أن من المستحيل إجراء المسح من دون أخطاء. وحينما يكون الكمال غير ممكن، يجب وضع حدود لمعيار القبول. ومعادلة خطأ الإغلاق المسموح به تعطي الحدود المسموح بها للمساحين:

$$AE = K\sqrt{M}$$

حيث AE هو الخطأ المسموح به، و K ثابت تختلف قيمته من 0.01 حتى 1.0، و M هي المسافة المقطوعة في حقل المسح مقدرة بالميل.

يتحدّد الثابت K بمستوى المسح. وفي المسح العالي الدقة، حيث يكون الخطأ المسموح به صغيراً جداً، تُستعمل قيمة لـ K تساوي 0.01. أما في المسح المنخفض الدقة، حيث يمكن قبول الأخطاء الكبيرة، فنُستعمل قيمة لـ K تساوي 1.0. لذا يجب تحديد مستوى المسح قبل بدئه لأنه يُحدّد جودة التجهيزات التي

سوف تُستعمل والإجراءات التي سوف تُتَّبَع لتَحْصِيل المعلومات. وتُعتبر قيم K الواقعة بين 0.10 و 0.05 مقبولة في معظم مسوحات البناء العامة والزراعية.

مسألة: هل خطأ الإغلاق المساوي لـ 0.01 قدم الحاصل فعلاً في قياس المنسوب التفاضلي في الشكل 9.15 مقبول إذا كانت المسافة الكلية الممسوحة ذهاباً وإياباً تساوي 3600 قدم وكانت قيم K التي تساوي 0.10 مقبولة؟

الحل:

$$\begin{aligned} AE &= K\sqrt{M} = 0.10 \times \sqrt{3,600 \text{ ft} \times \frac{1 \text{ mi}}{5,280 \text{ ft}}} \\ &= 0.10 \times \sqrt{0.6818} = 0.08 \end{aligned}$$

نظراً إلى أن $0.08 > 0.01$ ، يكون خطأ الإغلاق المفترض مقبولاً.

11.15 قياس المناسيب المطلقة

يُستعمل قياس المناسيب المطلقة لتحديد التغيُّرات في الارتفاع على طول خط. ومن الخطوط التي تحتاج إلى مسح خطوط مسيلات الصرف الصحي والطرق والأسوار والجدران الاستنادية. وحين رسم تلك المعلومات على مخطط، تعطي شكلاً للخط وتمكِّن من تحديد تدرُّجات ارتفاعه، وإيجاد البقاع المنخفضة والمرتفعة فيه، وإجراء تقديرات لأعماق الحفر، وكثير من الأشياء الأخرى. وسوف نستعرض في المقاطع التالية عملية قياس المناسيب المطلقة والطريقة المفضلة لتسجيل البيانات.

قبل رسم هيئة خط المناسيب، يُحدِّد فريق العمل محطات القياس بوضع وتد أو علم في الأماكن التي سوف تُقرأ المسطرة فيها. وعندما تكون التضاريس

مسطحة، توضع الأوتاد على مسافات متساوية من بعضها (25 أو 50 أو 100 قدم). وعندما لا تكون التضاريس مسطحة، أو عندما تكون ثمة محطات إضافية يجب قياس مناسيبها، ومنها الأرصفة مثلاً، يستطلع فريق العمل الخط ويقيم محطة في كل نقطة مهمة. ونظراً إلى أن الغرض من هيئة خط المناسيب هو بيان الميل الحقيقي للأرض، فإن عدم انتظام التضاريس سوف يحدّد المواقع التي تجب إقامة المحطات فيها. وحينما يكون ثمة تغيّر أكيد في ميل الأرض، على فريق العمل وضع وتد لتحديد ارتفاع النقطة حتى لو لم تقع على مسافة تساوي المسافات الفاصلة بين المحطات الأخرى.

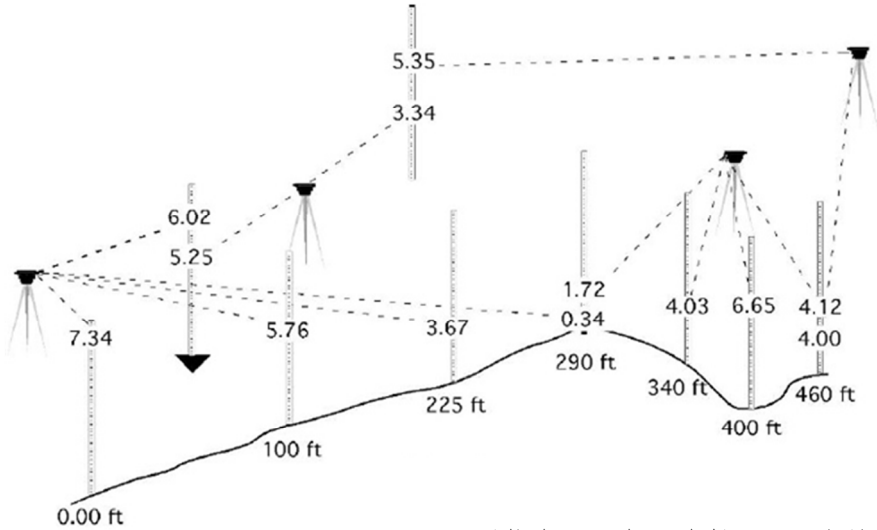
إن الفرق الرئيسي بين قياس المنسوب المطلق والمنسوب التفاضلي هو إضافة قراءات أمامية أخرى تُستعمل لتحديد هيئة التضاريس. وتُسمى القراءات الأمامية هذه قراءات أمامية وسيطة وتُعامل على نحو مختلف في أثناء تدقيق الأخطاء في البيانات المدوّنة. يُبيّن الجدول 2.15 أن الطريقة الشائعة لتسجيل القراءات الأمامية الوسيطة هي وضع القراءات الأمامية الحقيقية بين قوسين. والطريقة الأخرى هي إضافة عمود إلى الجدول خاص بالقراءات الأمامية الوسيطة.

وبعد تحديد الخط المركزي لمسيل مصرف أو قناة أو طريق أو أي خط آخر سوف يجري رسم هيئة مناسيبه، تقاس المسافة من نقطة البداية إلى كل محطة بدقة. وفي ما يخص المسوحات العالية الدقة، تُغرّز أوتاد ذات مقاطع عرضانية يساوي بُعداً كل منها 2×2 إنش في الأرض حتى رؤوسها، وتؤخذ قراءات المسطرة وهي فوق الأوتاد. وفي المسوحات التي هي أقل أهمية، يمكن أخذ القراءات الأمامية بوضع المسطرة على الأرض مباشرة. ثم يجري إعداد الجهاز وتؤخذ القراءات وتحدّد الارتفاعات لكل نقطة وتد على طول الخط. وتُستعمل

الخطأ المقبول: Acceptable error

$0.02 > 0.04$: خطأ الإغلاق مقبول

بعد وضع الجهاز بالقرب من الخط الذي سوف تُحدّد هيئة مناسبه وتحضيره للقياس، توضع المسطرة على علامة المنسوب المرجعي، وتُسجل قراءة تساوي في هذا المثال 6.02 أقدام. وبذلك يتحدّد ارتفاع الجهاز الذي يساوي 106.02 أقدام (100.00 + 6.02). ثم توضع المسطرة على مسافات تساوي 0.00 و 100 و 225 و 290 قدماً، وتؤخذ القراءات 7.34 و 5.76 و 3.67 و 0.34 وتُسجل. وعند المحطة 290 قدماً، يُغرز وتد حتى رأسه في الأرض لاستعماله لتسجيل الارتفاع وبوصفه نقطة انتقالية أيضاً. ويُحسب ارتفاع كل نقطة بطرح قراءة المسطرة من ارتفاع الجهاز. لاحظ أنه قد جرى استعمال الارتفاع عينه لجميع المحطات حتى المحطة 290، لأن جميع القراءات أخذت والجهاز موجود في الوضعية نفسها.



الشكل 10.15 مثال لقياس المناسيب المطلقة.

ونظراً إلى أن فريق المساحين توقع سلفاً وجود حاجة لنقطة انتقالية، تابع عملية قياس المناسيب المطلقة بنقل الجهاز إلى موقع جديد بغية رؤية المحطات المتبقية، ووجد أن القراءة الخلفية للمحطة 290 تساوي 1.72 قدم، وهذا يعطي ارتفاع الجهاز الجديد الذي يساوي 107.40 أقدام. ويستمر المسح وتُسجل قراءات المسطرة للمحطات 340 و 400 و 460. وتساوي تلك القراءات 4.03 و 6.65 و 4.12 أقدام.

ويُستكمل قياس المناسيب المطلقة بإغلاق الحلقة. يُنقل الجهاز وتُؤخذ قراءة خلفية للمحطة 460 قيمتها 4.00 أقدام. ويوضع وتد في النقطة الانتقالية TP2 وتُجرى قراءة أمامية تساوي 5.35 أقدام. وتُكرّر العملية لاستكمال المسح من TP2 حتى BM1.

يتضمن الجدول 2.15 مجموعة من القيم المدوّنة الناتجة في عملية المسح تلك. لاحظ أوجه التشابه والاختلاف بين هذه القيم وتلك المعطاة في الجدول 1.15 (بيانات قياس المناسيب التفاضلية). ويعد اكتمال عملية المسح، تبيّن أن خطأ مقداره 0.02 قدم قد تراكم في أثناء المسح.

1.11.15 الحد من الأخطاء

نظراً إلى أن قياسات المناسيب المطلقة تتضمن عدداً من القراءات الأمامية أكبر من عدد القراءات الخلفية، فإن طريقة تدقيق الأخطاء الحسابية تختلف قليلاً عن تلك المستعملة في قياسات المناسيب التفاضلية. والقراءات الأمامية الوحيدة التي يجب تضمينها في حساب المجموع ΣFS هي تلك التي تُؤخذ في النقاط الانتقالية، إضافة إلى نقاط علامات المنسوب المرجعية إذا استُعملت بوصفها نقاطاً انتقالية. وفي عينة القراءات المدوّنة في الجدول 2.15، وُضعت

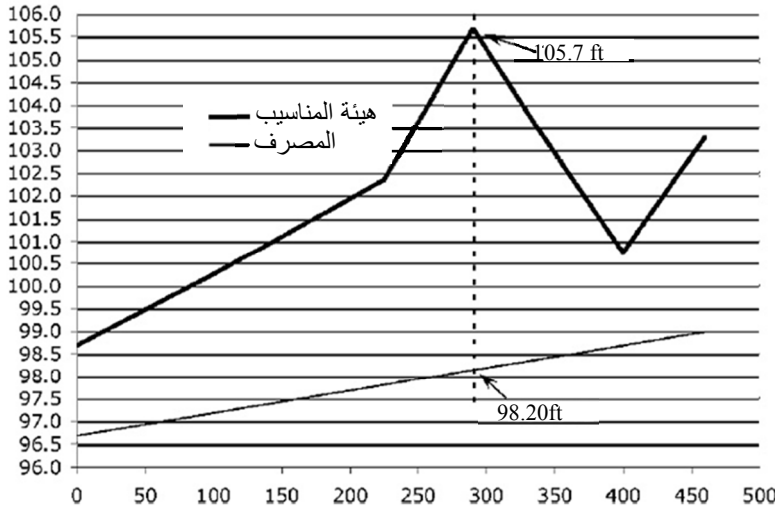
القراءات الأمامية التي سوف تُستعمل في التدقيق بين قوسين. والبيانات المدرجة في الجدول المذكور تشير إلى عدم وجود خطأ حسابي في المسح، وأن خطأ الإغلاق مقبول. **ملاحظة:** توفر هذه الطريقة تدقيقاً لقراءات النقاط الانتقالية فقط، لا للقراءات الأمامية الوسيطة. والأخطاء التي تخص القراءات الوسيطة لن تُكتشف باستعمال تدقيق الأخطاء المعتاد. ولذا يجب استعمال طرائق أخرى من قبيل القراءات المتعددة أو تغيير وضعية المنظار. ويجب توخي الحذر حينئذ لدرء الأخطاء في قراءة المسطرة وتسجيل النتائج، وفي حساب الارتفاعات في كل المحطات.

12.15 استعمال بيانات المناسيب المطلقة

تحصل أعظم فائدة من قياسات المناسيب المطلقة حين رسمها على شكل مخطط بياني. والأغراض الرئيسية من الرسم هي: (1) المساعدة على انتقاء ميول الطرقات ومواقع وأعماق قنوات الريّ ومسيلات الصرف وخطوط تصريف المياه الزائدة وأنابيب الصرف الصحي التي هي أكثر اقتصادية، و (2) تحديد مقدار الحفريات أو الردميات اللازمة لهذه الإنشاءات. ويُرسم المخطط بحيث تكون الارتفاعات على محور الترتيب (المحور العمودي)، وتكون المحطات على محور الفواصل (المحور الأفقي). إن استعمال وُزَيْقات الجدولة الحاسوبية يجعل رسم المسائل التي من هذا النوع وحلها اعتماداً على بيانات المناسيب أكثر سهولة.

مسألة: ما هو العمق الأعظمي للخندق اللازم لإنشاء مصرف بعمق 2.0 قدمين تحت مستوى المحطة 0.0 وبميل يساوي 0.5%، وذلك باستعمال البيانات المبينة في الجدول 2.15؟

الحل: يمكن إيجاد جواب هذه المسألة بحساب الفرق بين ارتفاع كل محطة وارتفاع المصرف المطلوب، إلا أن ذلك يتطلب حسابات لكل المحطات تقريباً. أما رسم البيانات فيوفر معلومات مرئية تساعد على تحديد المكان الذي سوف يكون فيه العمق أعظماً. انظر الشكل 11.15.



الشكل 11.15 مخطط هيئة المناسيب والمصرف باستعمال بيانات المثال.

يُبيّن المخطط أن الارتفاع الأعظمي في هيئة المناسيب يساوي 105.7 أقدام، وأن ارتفاع المصرف عند تلك المحطة سوف يكون عند 98.20 قدماً:

$$105.7 \text{ ft} - 98.20 \text{ ft} = 7.5 \text{ ft}$$

يساوي العمق الأعظمي للخندق اللازم لإنشاء المصرف 7.5 أقدام.

ويمكن حل المسألة أيضاً بحساب الفرق بين المنسوب وارتفاع المصرف عند كل محطة باستعمال المعادلة التالية:

ارتفاع المصرف = منسوب البداية + (بُعد المحطة عن البداية × ميل المصرف)

نظراً إلى أن ميل المصرف يساوي 0.5%، فإن ارتفاع المصرف عند المحطة 290 يساوي:

$$\begin{aligned} E &= 96.7 \text{ ft} + (290 \text{ ft} \times 0.005) \\ &= 96.7 \text{ ft} + 1.45 \text{ ft} \\ &= 98.15 \text{ or } 98.2 \text{ ft} \end{aligned}$$

ويساوي عمق الخندق عند المحطة 290 منسوب تلك المحطة (أي 105.7 أقدام) مطروحاً منه عمق المصرف عند تلك المحطة (98.2 قدماً)، أي:
 $105.7 - 98.2 = 7.5 \text{ ft}$.

13.15 مسائل بالوحدات المترية

إن إجراءات وتقنيات قياس المناسيب التفاضلية والمطلقة باستعمال التجهيزات المترية هي الإجراءات السابقة نفسها. والفرق الوحيد هو أن مسطرة مترية تُستعمل في المسح وأن معادلة خطأ الإغلاق في حالة المسوحات المترية هي:

$$AE = K\sqrt{M}$$

حيث AE هو خطأ الإغلاق المسموح به، و K هو ثابت يساوي 3-6 ميليمتر، و M هي المسافة المسوحة مقدرة بالكيلومتر.

16.

الطقس

1.16 الأهداف

1. فهم الفروقات بين مناطق الضغط العالي والضغط المنخفض وتأثيراتها في الطقس.
2. التمكن من تحديد كتل الهواء الخمس الشائعة.
3. فهم الدورة المائية.
4. التمكن من تحديد شدة هطول المطر ومدته وفواصل تكراره الزمنية.
5. التمكن من تحديد شدة هطول المطر حين معرفة مدة الهطول وفواصل تكراره الزمنية.

2.16 تقديم

الطقس هو أكبر متغيّر في مجال الإنتاج الزراعي لا يمكن التحكّم فيه، وأقل المتغيّرات قابلية للتنبؤ بها. فالإنتاج الزراعي يقوم على تنمية النباتات، وتلك النباتات تحتاج إلى بيئة مثالية كي يكون الإنتاج أعظمية. إلا أنه نادراً ما يتحقّق الإنتاج الأعظمي في البيئة الطبيعية لأن الطقس نادراً ما يتوافق مع احتياجات النباتات. وكلما كانت البيئة مختلفة بقدر ملحوظ عن كونها مثالية، تعرضت النباتات إلى الإجهاد، وانخفض الإنتاج. والعامل الرئيسي المحدّد للإنتاج الزراعي هو الماء. لذا فإن فهم آليات الطقس يُحسّن عملية اتخاذ القرار

بخصوص الريّ والحراثة والقطاف والحصاد. والقرارات التي هي أفضل تعني زيادة إنتاجية المشروع الزراعي. وفي هذا الفصل سوف نناقش منظومات الضغط التي تؤثر في الطقس والدورات المائية وبعض خصائص هطول وسيول الأمطار.

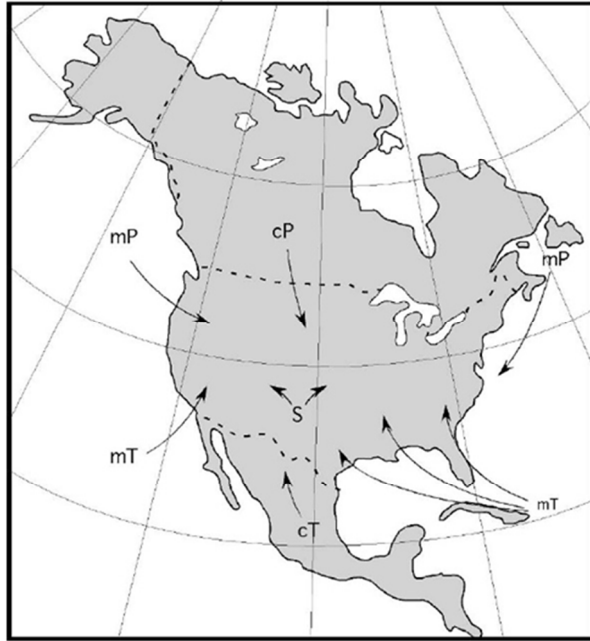
3.16 مناطق الضغط العالي والمنخفض

يتأثر الطقس كثيراً بنظم الضغط الجوي. وتعتبر مراكز الضغط العالي والضغط المنخفض مؤشرات إلى نوع الطقس المتوقع. وتهب الرياح باتجاه معاكس لاتجاه دوران عقارب الساعة حول مركز الضغط المنخفض، وباتجاه دوران عقارب الساعة حول مركز الضغط العالي. وتُشير نظم الضغط المتقاربة إلى تدرُّج ضغط كبير وإلى سرعات ريح عالية. وعندما تكون تلك النظم متباعدة عن بعضها، تكون سرعات الريح أقل. ويمكن أن ينشأ خط جبهة هوائية بين منطقتي ضغط منخفض، أو خط جبهة ضغط مرتفع بين منطقتي ضغط عال. وعموماً، يقترن الجو الغائم أو الماطر بمركزٍ للضغط المنخفض، ويقترن الجو الصافي المشمس بمناطق الضغط العالي.

4.16 الكتل الهوائية

تتجم فروقات الضغط عن حركة الكتل الهوائية. والكتلة الهوائية هي جسم كبير من الهواء ذو درجة حرارة ورطوبة نسبية متجانسة إلى حد ما ضمن كامل الكتلة. ويمكن للكتل الهوائية التي تبقى مدة فوق الماء أن تحتوي على كميات كبيرة من الرطوبة، في حين أن تلك التي تتكوّن فوق اليابسة تكون جافة عادة.

يتأثر الطقس فوق الولايات المتحدة بخمس كتل هوائية. انظر الشكل 1.16. ويتضمن المقطع التالي تلك الكتل الهوائية ويصفها باختصار.



الشكل 1.16 الكتل الهوائية في أمريكا الشمالية.

1. **الكتلة البحرية المدارية mT:** تنشأ الكتلة عند خليج المكسيك حيث تتعرض إلى تسخين شديد بواسطة الشمس. ويؤدي هذا التسخين إلى بخر من المحيط، وهذا ما يجعل الكتلة دافئة ورطبة. وتتحرك هذه الكتلة تدريجياً نحو الشمال والغرب إلى المنطقة الوسطى من الولايات المتحدة، وتوفّر أكبر مقدار من الرطوبة للمناطق الوسطى والشرقية منها. وتتكوّن

كتل الهواء المدارية البحرية أيضاً موسمياً عند الساحل الجنوبي من كاليفورنيا.

2. **الكتلة القارية المدارية cT:** تتكوّن الكتلة القارية المدارية فوق الريف المكسيكي، وتعرض إلى تسخين شديد بواسطة الشمس. ونظراً إلى نشوئها فوق اليابسة، تكون جافة. وهي تتحرك نحو الشمال إلى السهول الوسطى. وعندما تدخل منطقة تهيمن عليها كتلة مدارية بحرية، يمكن أن يتكوّن خط جاف عند الحدود بين الكتلتين. وهذه ظاهرة تشتهر بحصول عواصف رعدية شديدة.

3. **الكتلة القطبية البحرية mP:** تتكوّن هذه الكتلة فوق المنطقة القطبية من المحيطين الأطلسي والهادئ. وهي باردة جداً وتكون مشبعة ببخار الماء عادة. لذا فإن أي تبريد إضافي لها يؤدي إلى تساقط الأمطار والثلوج وغيرها من المتساقطات. وهي مشهورة بتوليد الضباب والرذاذ والطقس الغائم، وبالمطر الخفيف إلى المتوسط المديد. وتتسأ كتلة المحيط الهادئ على نحو أكثر تكراراً وتتحرك نحو الجنوب والشرق إلى السهول الوسطى. ومع اندفاعها نحو الجبال الصخرية تفقد معظم رطوبتها وتتحوّل إلى كتلة هواء قارية. أما كتلة المحيط الأطلسي، فهي أقل تكراراً وتنتشر على الساحل الشرقي.

4. **الكتلة القطبية القارية cP:** تتكوّن هذه الكتلة فوق السهول الوسطى في كندا. وتشتهر هذه المنطقة من كندا بليالي الشتاء الطويلة والتبريد الإشعاعي الشديد، وهذا ما يؤدي إلى كتلة هوائية جافة شديدة البرودة. وتتحرك هذه الكتلة ببطء شديد، ولذا تبقى باردة جداً. وهي لا تؤدي إلى كثير من المتساقطات في ما عدا تلك التي تحصل على طول الخط الفاصل بين الكتلتين cP و mT. وفي هذه الحالة، يمكن للتبريد السريع

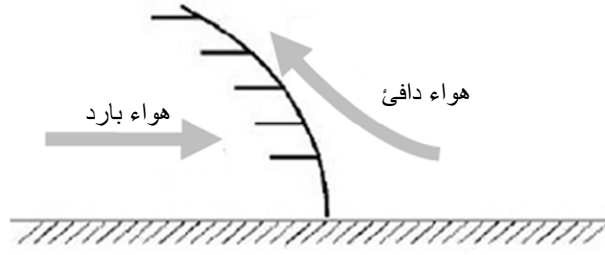
للكتلة mT بواسطة الكتلة cP أن يولّد عواصف رعدية محلية قوية. أما حركتها فهي نحو الجنوب إلى السهول الكبرى.

5. الكتلة العليا S: تتصف كتلة الهواء العليا بأنها فريدة من حيث إنها تتشكّل عند ارتفاعات عليا فوق الصحراء الجنوبية الغربية وتهبط أحياناً إلى السطح. وهي جافة وساخنة عادة.

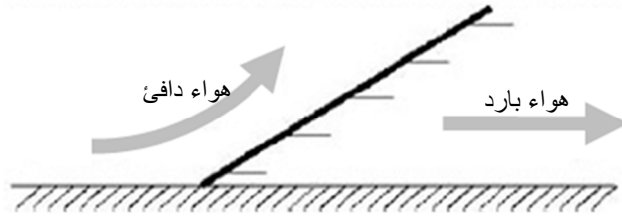
5.16 العواصف

تتشأ العواصف من تصادم كتل الهواء الباردة والحارة. وتسمى منطقة التلاقي بين الكتلتين المتصادمتين بالجبهة. وتُصنّف الجبهات في جبهات باردة وجبهات دافئة تبعاً لكتلة الهواء المهيمنة. وعندما تكون الكتلة الباردة هي المهيمنة، يحصل التغيّر بسرعة لأن كتل الهواء البارد تتحرك بسرعة عادة. فالهواء البارد أثقل من الهواء الدافئ، ولذا يُدفع الهواء الدافئ إلى أعلى وفقاً للمبين في المقطع العرضاني في الشكل 2.16. وبارتفاع الهواء إلى أعلى يبرد بسرعة. ويمكن أن يتولد من ذلك هطول أمطار في مناطق صغيرة. وبالنسبة للحفاظ على الماء والتربة، فإن الجبهة الباردة يمكن أن تتسبب بعواطف أمطار محلية شديدة يمكن أن تؤدي إلى تآكل شديد للتربة وإلى فيضانات محلية.

ويُري الشكل 3.16 مقطعاً عرضانياً لجبهة حارة. تحصل الجبهة الحارة حينما تكون كتلة الهواء الحارة هي المهيمنة وتتغلب على الكتلة الباردة. ويكون معدل التبريد هنا أقل كثيراً منه في الجبهة الباردة، ويكون المطر الهائل لطيفاً. ويغطي المطر عادة مناطق واسعة، ويكون احتمال تآكل التربة منخفضاً، إلا أن المطر يمكن أن يسبّب فيضانات واسعة النطاق إذا استمر مدة طويلة.



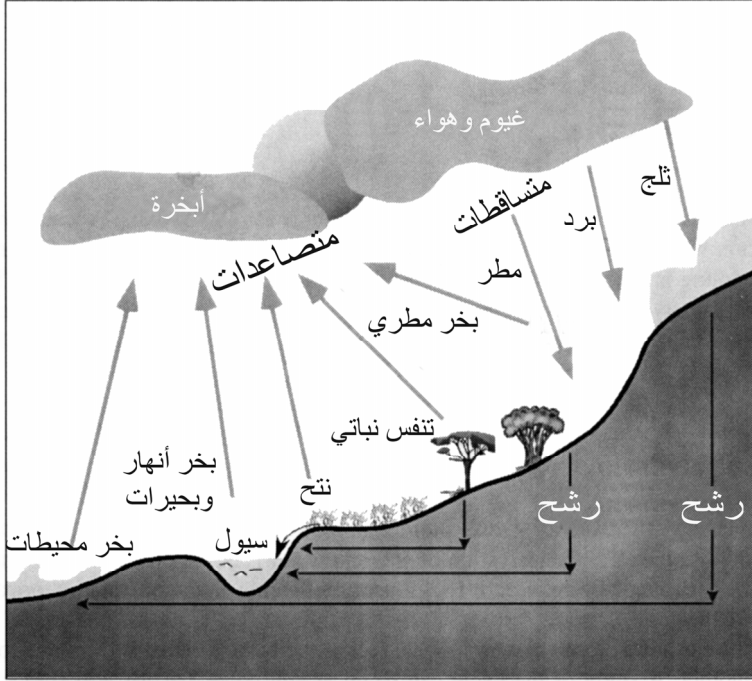
الشكل 2.16 مقطع عرضاني لجبهة باردة.



الشكل 3.16 مقطع عرضاني لجبهة حارة.

6.16 الدورة المائية

تتضمن مصادر القلق المناخية أكثر من مفاعيل الضغط والكتل الهوائية في الطقس. فالحفاظ على التربة والماء يقوم على فهم الدورة المائية. ويُري الشكل 4.16 حركة الماء على سطح الأرض وتحتّه وفوقه.



تُعتبر الأرض منظومة مغلقة يدور فيها كل الماء منتقلاً من صيغة إلى أخرى. ويمكن دراسة الدورة أن تبدأ في أي نقطة منها، لكننا سوف نبدأ بالمتساقطات.

تتجم المتساقطات عن تكاثف بخار الماء في الجو. ويتجمّع بخار الماء في الجو حينما تبخر الشمس الماء من المحيطات والأنهار والبحيرات والنباتات. ويسقط الماء المتكاثف على الأرض على شكل مطر وبرد وثلج، أو يتكاثف على السطوح على شكل ندى أو جليد. ولا تصل كل المتساقطات إلى سطح الأرض، بل إن بعضها يتبخر في أثناء تساقطه، وبعضها يصل إلى السطح لكنه لا يدخل ضمن الدورة لأنه يبقى على شكل ثلج أو جليد، وتعرض

النباتات بعضها الآخر وتمتصه. ويمكن للماء المخزون على شكل ثلج أو جليد أن يبقى في تلك الحالة مدة طويلة ضمن الأنهار الجليدية وفي القطبين. وتتبع المتساقطات مسارات مختلفة قبل عودتها في النهاية إلى الجو على شكل بخار.

ويرشّح بعض المتساقطات عبر التربة. وليس من غير المألوف لمعدل الرش (مقدراً بالإنش في الساعة) في التربة أن يكون أقل من شدة هطول المطر (مقدراً بالإنش في الساعة). وعندما يحصل ذلك، تتحول المتساقطات الزائدة إلى سيول تُعتبر أحد سببي تآكل التربة. ولا تصل كل مياه السيول إلى المحيطات، بل يتبخر بعضها، ويتجمع بعضها في برك ومجمّعات ليرشح عبر التربة، وتمتص النباتات بعضها الآخر. ويمكن للماء أن يبقى ضمن النبات مدة طويلة، لكنه يعود إلى الدورة المائية في النهاية ثانية.

وتتبع المتساقطات التي ترشح عبر التربة مسارات مختلفة أيضاً. فبعضها يسقط على مناطق عميقة التربة ويتغلغل عميقاً في الأرض. ويمكن لبعض مياه الرش أن يصل إلى طبقة كثيفة بالقرب من السطح ويبدأ بالحركة أفقياً بسرعة. ويمكن لهذه الحركة الأفقية تحت الأرض أن تنتهي على شكل نوع من الماء السطحي، أو يمكن أن تخرج من الأرض على شكل ينبوع أو بئر ارتوازي. أما الماء الذي يتغلغل في العمق فيمكن أن يتجمّع في أحواض مائية كبيرة ضمن طبقات صخرية تحت الأرض حيث يمكن ضخه إلى السطح لاستعماله منزلياً وصناعياً وزراعياً، أو يمكن أن يذهب في النهاية إلى البحر. ويمكن لحركة الماء الأفقية عبر التربة أن تكون صغيرة بحيث لا تتعدى بضعة إنشات في السنة. وعندما يصل الماء إلى البحر، تبخره الشمس وتبدأ الدورة من جديد.

ويمكن استعمال الدورة المائية لشرح أهمية الحفاظ على الماء. فالأنشطة مثل الضخ وبناء السدود وغيرها تغيّر مقدار تدفق الماء واتجاهه. على سبيل المثال،

يُقلَّص الماء المحتجَز في السدود مقدار الماء المتاح لمستعملي مياه الجداول، إضافة إلى أنه يغيَّر مقدار الماء الذي يرشح عبر التربة أو يتبخَّر إلى الجو. ويمكن للملوَّثات التي تُضاف إلى الماء على شكل كيماويات أو طمي في نقطة معينة من الدورة أن تبقى فيه مؤدية إلى مشكلات في الاستعمالات اللاحقة.

7.16 شدة هطول المطر ومدته وتكراره

يهتم المهندسون والمحافظون على البيئة وعلماء البيئة الحيوية والمنتجون الزراعيون بهطول المطر بسبب مفعوله في تآكل التربة والفيضانات، وفي ري المحاصيل الزراعية. وثمة أربع خصائص مهمة لهطل المطر هي شدته ومدته ومقداره الكلي والفواصل الزمنية بين حصوله (في حالة العواصف). وتتضمن المقاطع التالية وصفاً لهذه الخصائص.

1.7.16 شدة الهطول

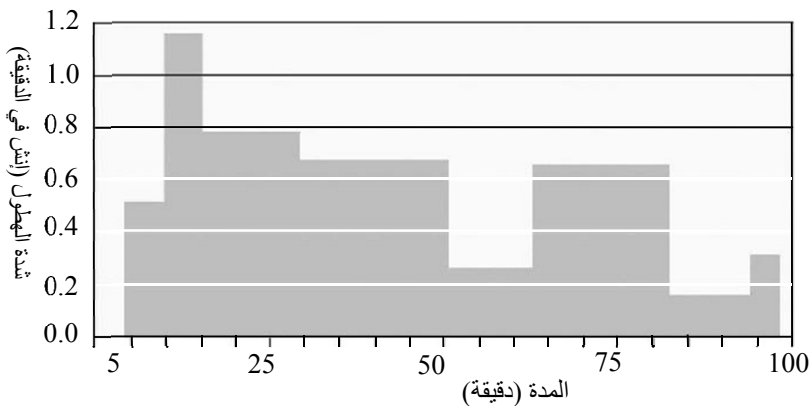
شدة الهطول هي معدل، وهي تُقدَّر عادة بالإنش في الساعة أو المليمتر في الساعة. وهي خاصية مهمة لأن العاصفة المطرية ذات الشدة العالية تسبب تآكلاً للتربة أكبر مما تسببه عدة عواصف ذات شدة منخفضة، بافتراض أن المفاعيل الأخرى هي نفسها في الحالتين. فالعاصفة المطرية ذات الشدة العالية تسبب سيولاً أكبر كثيراً مما يسببه الهطول القليل الشدة.

2.7.16 مدة الهطول

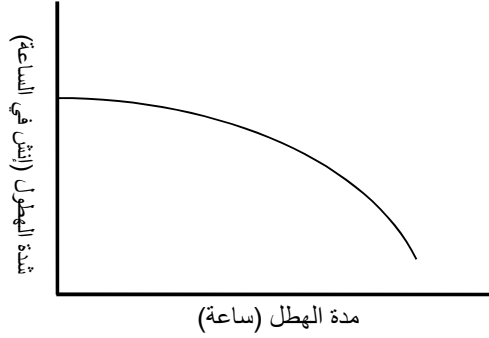
مدة الهطول هي المدة التي يسقط خلالها المطر بمعدل أو شدة ثابتين. ولا تُقصد بها مدة الهطول الكلية من البداية حتى النهاية. ففي أثناء أي هطول

مطري، لا تكون الشدة ثابتة، بل يمكن أن تختلف من عالية جداً إلى منخفضة جداً، ولذا من الضروري التفكير بالمدة التي يستغرقها الهطول بمعدل معين (مقدراً بالإنش في الدقيقة أو المليلتر في الدقيقة). يتضمن مثال شدة الهطول ومدته المبين في الشكل 5.16 ثماني مُدد خلال هطول دام 94 دقيقة. أما المقدار الكلي للهطول (مقدراً بالإنشات أو المليلترات) في أثناء حدوث هطول معين فيساوي مجموع معدلات الهطول بعد ضرب كل منها بمدته.

وشدة الهطول الوسطية في أثناء عاصفة مطرية تقع بين أعلى وأدنى شدة هطول. والقاعدة العامة هي أن الجزء من العاصفة ذا المعدل العالي يدوم مدة أقصر مما يدومه الجزء ذو المعدل المنخفض. ويبيّن الشكل 6.16 العلاقة الشائعة بين شدة الهطول ومدته.



الشكل 5.16 مثال لشدة الهطول ومدته خلال حدث ماطر.

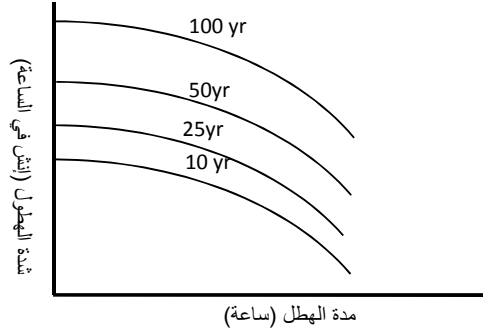


الشكل 6.16 منحنى شائع للعلاقة بين شدة الهطول ومدته.

3.7.16 فواصل تكرار الهطول الزمنية

من الجوانب المهمة الأخرى للمطر المعدّل المتوقّع لحصول عاصفة مطرية ذات شدة ومدة محدّتين. يُعرّف فاصل التكرار الزمني بعدد السنوات الوسطي المتوقّع انقضاؤها بين عاصفتين مطريتين لهما شدة ومدة محدّتين. فالعاصفة التي يتوقّع حصولها مرة كل 25 سنة وسطياً توصف بفاصل تكرار يساوي 25 سنة، أو تسمى بعاصفة الـ 25 سنة. لكنّ من الضروري الانتباه إلى أن كل ذلك يقوم على قوانين الاحتمالات، أو المصادفة، وأن تلك التقديرات تقوم المتوسطات فقط. وليس ثمة ما يمنع عاصفة الـ 25 سنة من أن تحصل في سنتين متتاليتين، أو حتى أكثر من مرتين في السنة، برغم أن احتمال حدوث ذلك ضئيل جداً.

لقد درست إدارة خدمات الطقس الوطنية (الأميركية) سجلات هطول المطر في أثناء العواصف الكبرى طوال سنوات كثيرة، ونشرت نتائج تلك الدراسات على شكل مخططات للفواصل الزمنية لتكرار شدة الهطول، ومن أمثلة تلك المخططات المخطط المبين في الشكل 7.16.

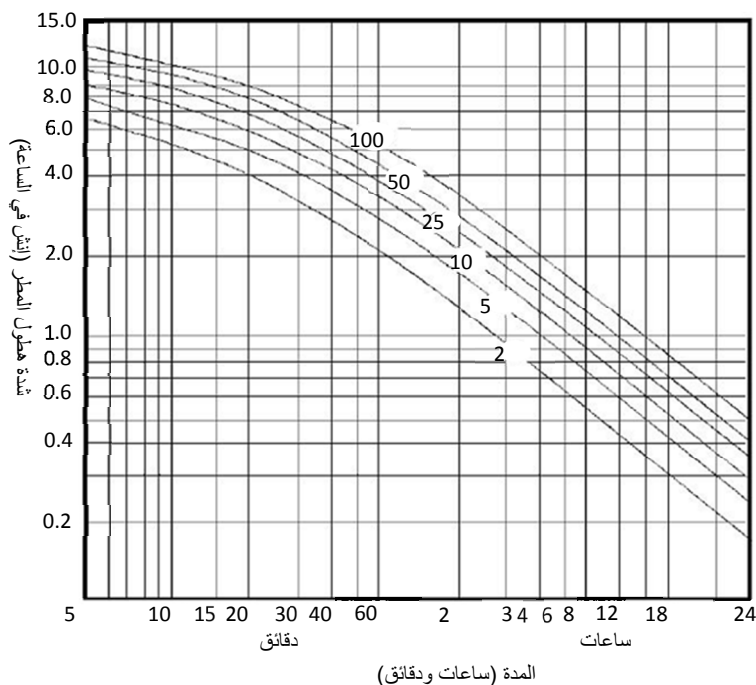


الشكل 7.16 منحنيات شائعة لشدة الهطول ومدته وفواصل تكراره.

إذاً، تُعتبر العاصفة المطرية أنها ذات فاصل تكراري يساوي 2 أو 5 أو 10 أو 25 أو 50 أو 100 سنة أو أكثر، وذلك تبعاً لعدد السنوات الوسطي الذي يُتَوَقَّع انصرامه قبل حدوث عاصفة لها مدة وشدة مشابهتين مرة أخرى. ومن أجل مدة معينة، نتَوَقَّع أن تكون الشدة في عاصفة ذات فاصل تكرار مدته 100 سنة أكبر من تلك التي تحصل في عاصفة الـ 10 سنوات. ويمكن رسم منحني يُبين العلاقة بين شدة الهطول ومدته المتوقعة من أجل كل فاصل تكراري.

4.7.16 الشدة والمدة وفاصل التكرار الزمني

يُري الشكل 8.16 منحنيات شائعة للعلاقة بين شدة الهطول ومدته وفواصل تكراره الزمنية لمنطقة معينة. وتمثل تلك المنحنيات فواصل تكرار تساوي 2 و 5 و 10 و 25 و 50 و 100 سنة.



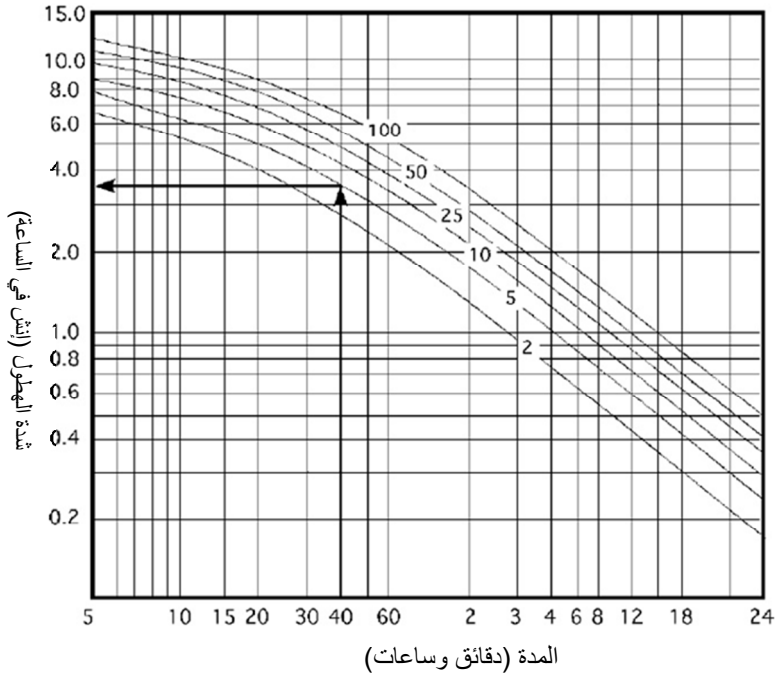
الشكل 8.16 مثال لشدة الهطول ومدته وفاصل تكراره الزمني.

لاحظ أن تدريجات محوري الإحداثيات في المخطط هي تدريجات لوغاريتمية، ولذا تجب قراءتها بحذر. وتُقدَّر المدة في النصف الأيسر من المخطط بالدقائق، وفي النصف الأيمن بالساعات. ولتصميم بنية لحفظ الماء في منطقة معينة، يجب استعمال المخطط الملائم لتلك المنطقة.

مسألة: ما مقدار شدة الهطول المتوقعة خلال مدة 40 دقيقة في حالة فاصل تكرار زمني يساوي 10 سنوات؟

الحل: في الشكل 9.16، انطلق من نقطة 40 دقيقة على المحور الأفقي، واصعد عمودياً إلى منحنى الـ 10 سنوات، ومن نقطة التقاطع مع ذلك المنحني

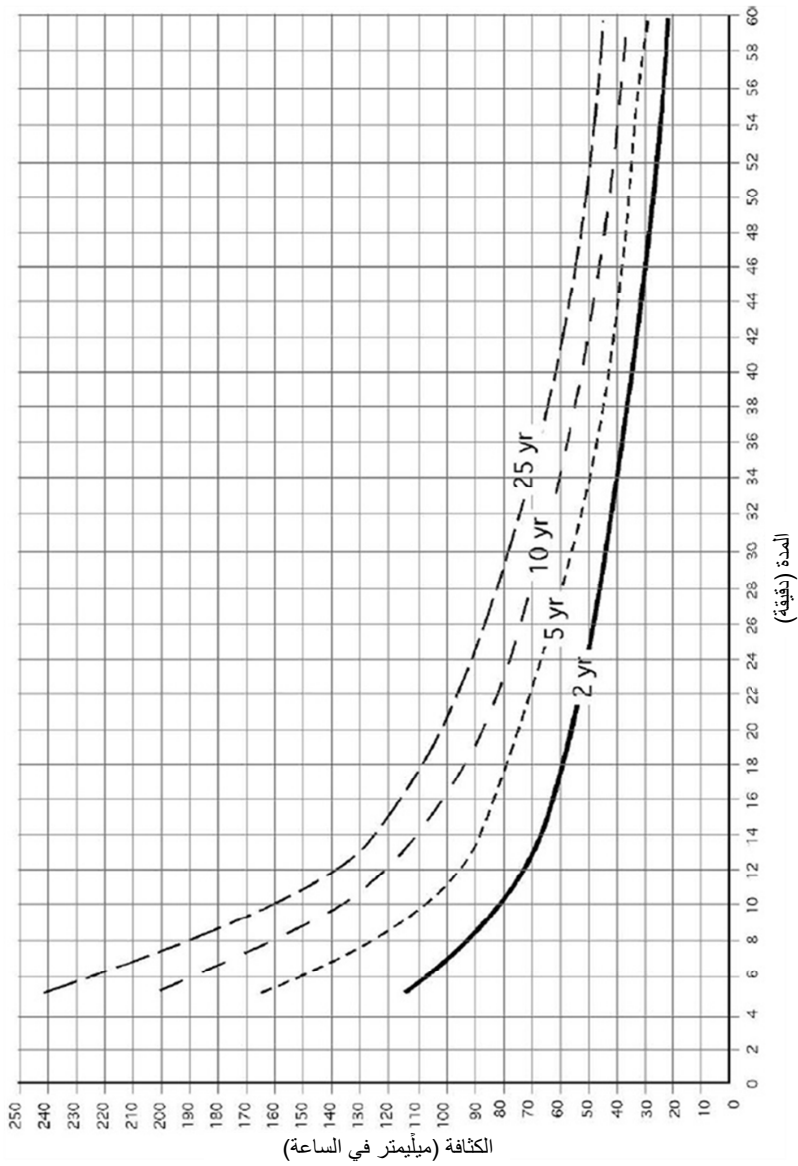
اذهب أفقياً إلى المحور العمودي، فتجد أن شدة هطول المطر تساوي 3.5
إنشات في الساعة.



الشكل 9.16 شدة الهطول في المسألة السابقة.

8.16 مسائل بالوحدات المترية

بقطع النظر عن الوحدات المستعملة، تبقى الدورة المائية هي نفسها. والفرق الوحيد يكمن في الوحدة المستعملة في قياس مقدار الهطل. أما في ما يخص منحنيات شدة الهطول ومدته وفاصل تكراره الزمني فهي تبدو مختلفة في هذا القسم الخاص بالوحدات المترية وذلك لأن تدريجات محوري الإحداثيات ليست لوغاريتمية. انظر الشكل 10.16.



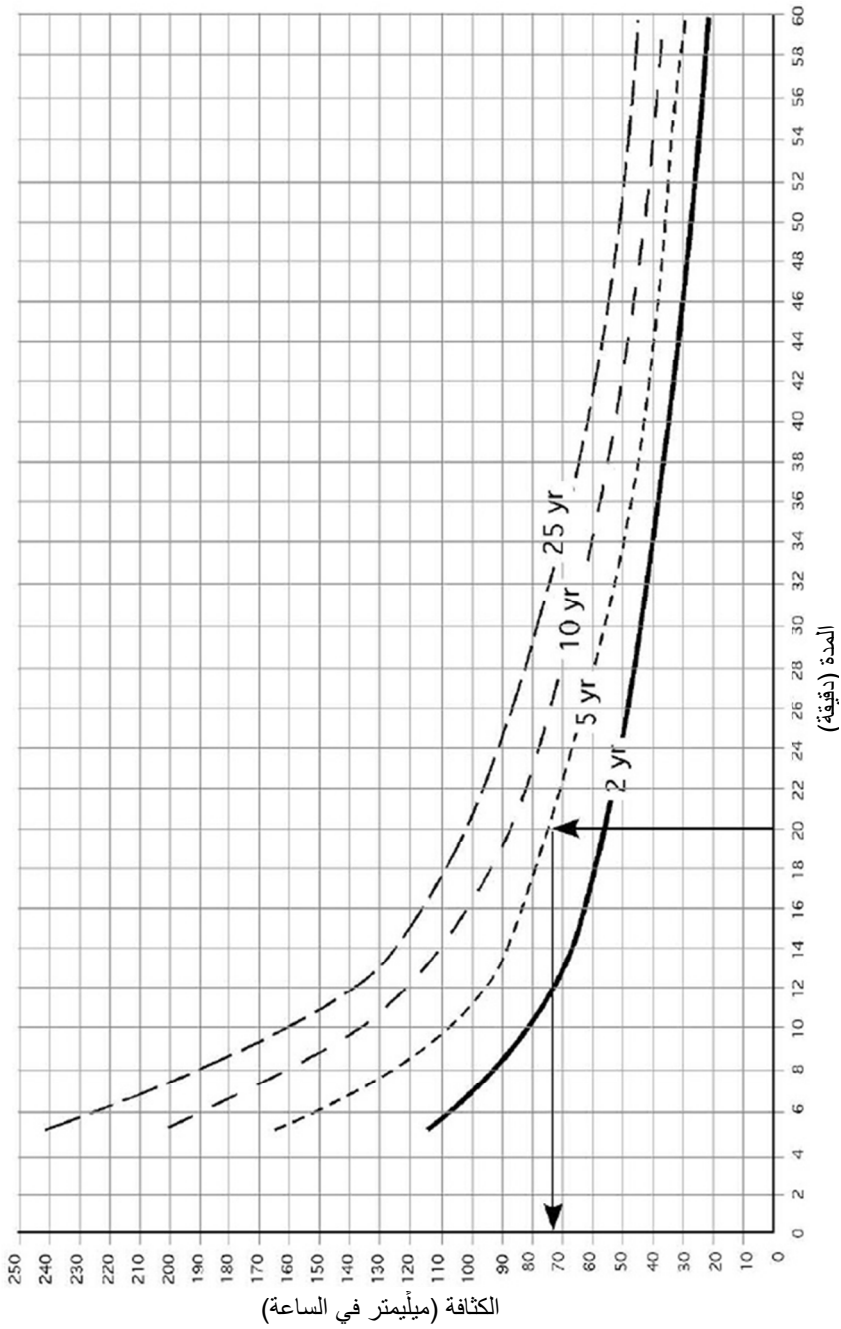
الشكل 10.16 منحنيات شدة الهطول ومدته وفاصل تكراره لمثال المسألة قبل الأخيرة.

مسألة: حدّد شدة هطول المطر، بالوحدات المترية، لعاصفة 5 سنوات ومدة هطول تساوي 20 دقيقة.

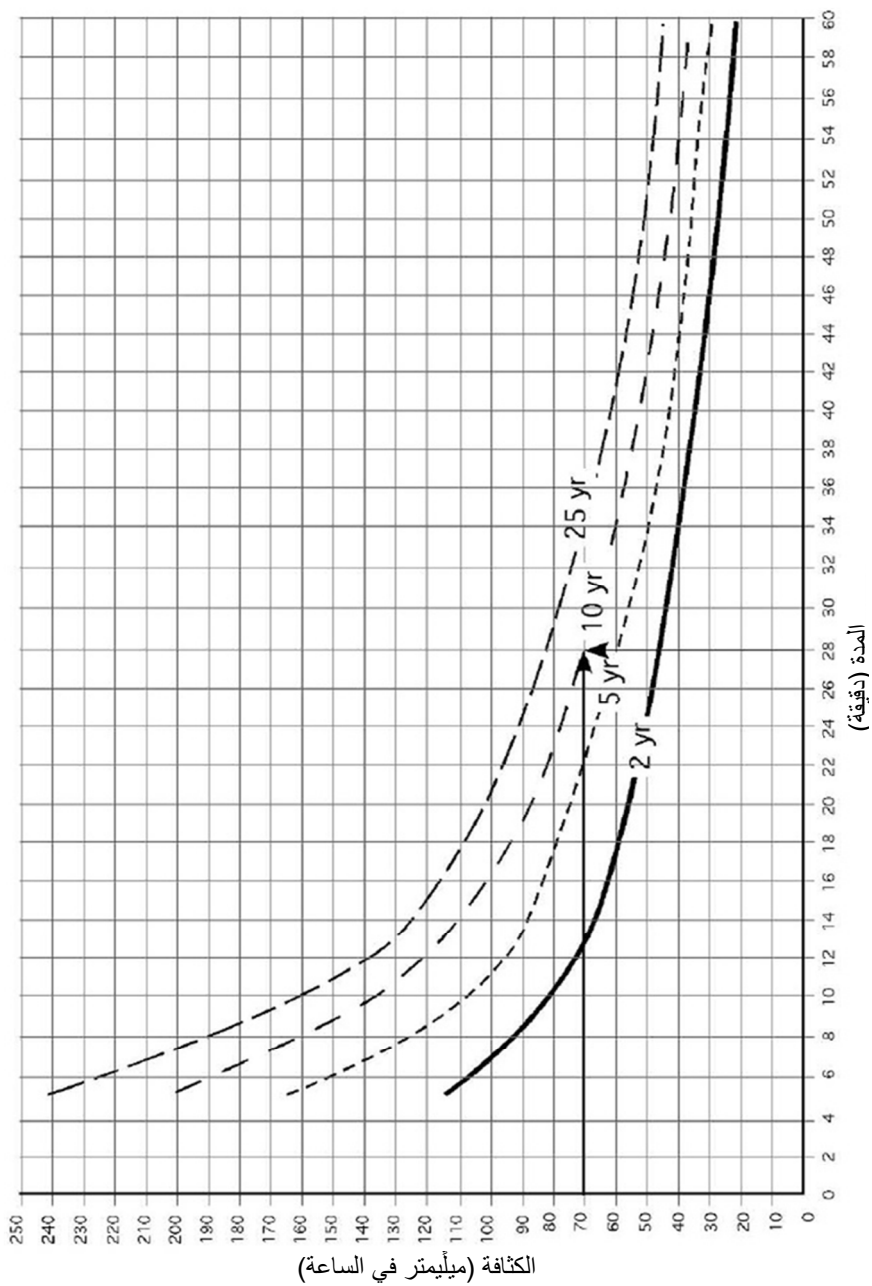
الحل: في الشكل 11.16، انطلق من نقطة الـ 20 دقيقة على المحور الأفقي وانتقل عمودياً إلى منحنى الـ 5 سنوات، ومن نقطة التقاطع معه اذهب أفقياً إلى اليسار إلى المحور العمودي، فتجد أن شدة الهطول تساوي 72 ميليمتراً في الساعة.

مسألة: ما القيمة المتوقعة لفاصل التكرار الزمني لعاصفة مدة الهطول فيها تساوي 28 دقيقة وشدته تساوي 70 ميليمتراً في الساعة؟

الحل: في الشكل 12.16، انطلق من نقطة الـ 28 دقيقة على المحور الأفقي عمودياً إلى الأعلى، ومن نقطة الـ 70 ميليمتراً في الساعة على المحور العمودي إلى اليسار، فيتقاطع الخطان عند منحنى الفاصل التكراري 10 سنوات.



الشكل 11.16 منحنيات شدة الهطول ومدته وفواصل تكراره باستعمال الوحدات المترية.



الشكل 12.16 منحنيات شدة الهطول ومدته وفاصل تكراره للمسألة الأخيرة

17.

السيول

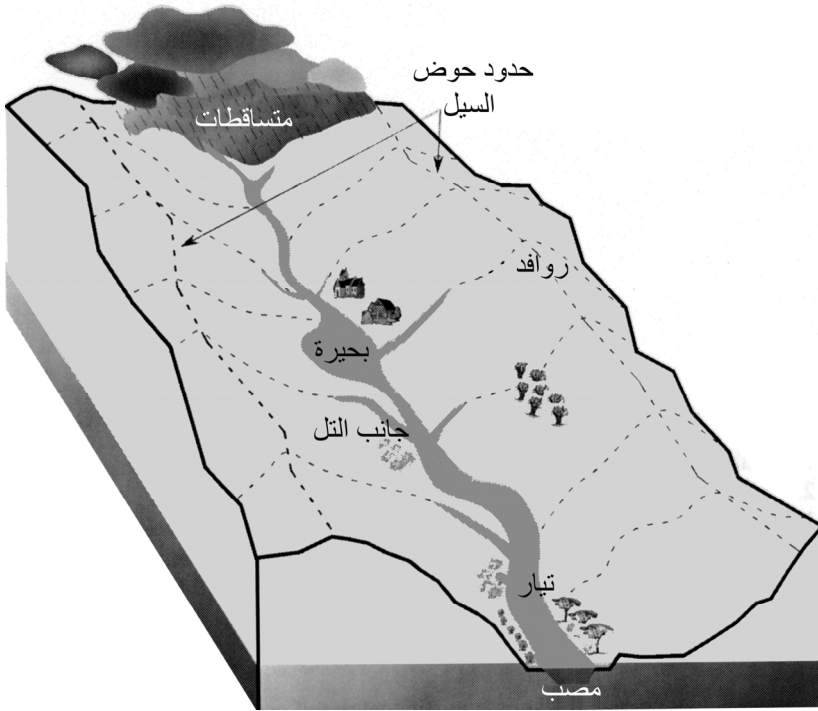
1.17 الأهداف

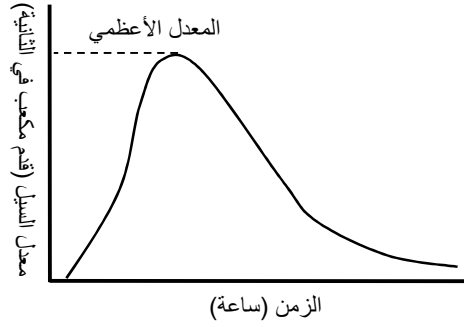
1. التمكن من مناقشة خصائص الأحواض المائية التي تؤثر في سيول الأمطار.
2. التمكن من استعمال معادلة منطقية لتحديد معدل السيل الأعظمي.
3. التمكن من الاستفادة من مخطط شدة الهطول ومدته وفواصله التكرارية.
4. بمعرفة خصائص أحواض السيول المختلطة، التمكن من تحديد ذروة معدل السيل لعاصفة معينة.

2.17 تقديم

رأينا في الفصل السابق أن السيل يتكوّن عندما تتجاوز شدة الهطول معدل الرشح عبر التربة. ومن الضروري في كثير من الحالات التمكن من تحديد حجم الماء الذي سوف يسيل من منطقة ما ومعدل السيل الأعظمي. ويُستعمل حجم السيل لتحديد حجوم بُنى تصريف وتجميع المياه. ومن استعمالات المعدل الأعظمي تحديد حجوم مسارات التصريف والقنوات تحت الأرض والجسور. ويمكن تصوّر المعدل الأعظمي بسهولة إذا رُسم معدل التدفّق بصيغة مخطط بياني مائي يُبيّن معدل السيل في الحوض بوصفه تابعاً للزمن. أما حوض

السيّل فهو حوض التصريف الذي يمر كل الماء الجاري فيه من نقطة واحدة. انظر الشكل 1.17. و يمكن لهذه النقطة أن تكون مصب السيّل في تيار مائي آخر، أو في مجمّع مائي، مثل حوض أو بحيرة. ويُري الشكل 2.17 مخططاً مائياً شائعاً يبيّن أن السيّل يتزايد تدريجياً حتى يصل معدله إلى قيمة عظمى ثم يتناقص مع توقّف هطل المطر واستمرار تصريف حوض السيّل للمياه المتجمعة فيه. وتقدر معدلات التدفق في التيارات المائية عموماً بوحدات القدم المكعب في الثانية أو المتر المكعب في الثانية. وسوف نناقش في هذا الفصل معادلة منطقية لمعدل السيّل الأعظمي، وهي معادلة تُستعمل لحساب المعدل الأعظمي للسيّل في مناطق تقل مساحاتها عن 20 إكراً.



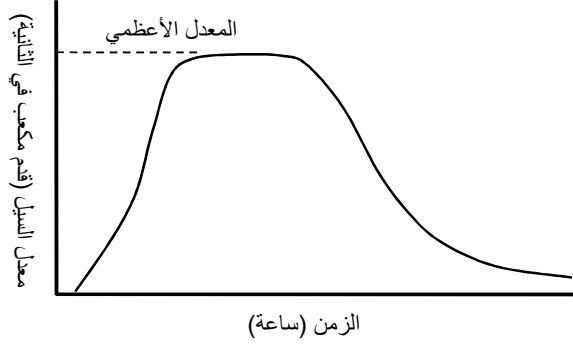


الشكل 2.17 مخطط شائع لمعدل السيل.

3.17 المعدل الأعظمي للسيل

ليس معدل السيل ثابتاً مهماً كان نوع هطول المطر. وتبعاً لخصائص حوض السيل، سوف يكون ثمة بعض التأخير من بداية الهطول حتى بدء جريان السيل. ويتصف كل حوض سيل بمدة تأخير معينة حتى حصول المعدل الأعظمي. وتُمكن رؤية مفاعيل الفروقات بين السيول المختلفة باستعمال المخطط المائي لكل حوض سيل.

ويُتخذ المنحني البياني شكلاً مختلفاً لكل حدث هطول ولكل حوض سيل. على سبيل المثال، إذا دام الهطل مدة طويلة، يمكن المخطط البياني المائي أن يتخذ الهيئة المبيّنة في الشكل 3.17.



الشكل 3.17 مثال لمنحن بياني لمعدل سيل يدوم مدة طويلة.

4.17 معادلة منطقية لحساب المعدل الأعظمي للسيل

تُعتبر هذه المعادلة واحدة من أقدم طرائق حساب المعدل الأعظمي للسيل. وهي مبسطة، إلا أنها مفيدة في حالة أحواض السيول الصغيرة، وباستعمالها يجري استقصاء العوامل الرئيسية التي تؤثر في السيل. وتقل الثقة بنتيجة الحساب مع ازدياد حجم الحوض وازدياد التغيرات. وفي ما يخص المساحات الصغيرة المتجانسة نسبياً، تعطي المعادلة نتائج مقبولة لمعظم الاحتياجات:

$$Q = CIA$$

حيث Q هو المعدل الأعظمي للسيل مقدراً بالقدم المكعب في الثانية، و C هو معامل السيل، و I هي شدة الهطل مقدرة بالإنش في الساعة، و A هي مساحة منطقة تصريف المياه في حوض السيل مقدرة بالإيكير.

إن دقة نتائج هذه المعادلة بوصفها وسيلة تتنبؤ بمعدل السيل الأعظمي مماثلة لدقة الأعداد التي تعبر عن كل متغير فيها. وتحتوي الجداول التالية على قيم

عامة لمتغيّرات المعادلة، ويجب عدم استعمالها إلا بوصفها أمثلة. وعندما تكون الحسابات مهمة، يجب الحصول على القيم الفعلية لحوض سيل معين من إدارة خدمات الحفاظ على الموارد الوطنية (National Resource Conservation Service) (الأميركية) أو من موقع الويب المناسب.

1.4.17 معامل السيل C

يُعرّف معامل السيل C بأنه نسبة معدل السيل الأعظمي إلى شدة هطول المطر. وهو يدل رياضياً على كون السيل في حوض معين كبيراً أو صغيراً. وتعتمد قيمته على نوع الحوض وخصائصه. فإذا كان الحوض مؤلفاً من تربة شديدة التماسك أو أرض مفلوحة، أو كان ذا ميل حادة، كان معدل السيل كبيراً. وإذا كانت التربة رملية، وكانت الميول قليلة، والأرض مغطاة بكثير من النباتات، كان السيل ضعيفاً. ويتضمن الجدول 1.17 تقديرات لمعامل السيل لأحواض ذات تضاريس وتربة وظروف تغطية مختلفة.

الجدول 1.17 معامل السيل C .

نوع التربة			
التضاريس والنباتات والميل	صلصال رملي	صلصال طميي	تربة متماسكة
غابة			
التسطح: 0-5%	0.10	0.30	0.40
الميل: 5-10%	0.25	0.35	0.50
الارتفاع: 10-30%	0.30	0.50	0.60
مرعى			
التسطح: 0-5%	0.10	0.30	0.40
الميل: 5-10%	0.16	0.36	0.55

0.60	0.42	0.22	الارتفاع: 10-30%
			أرض مفلوحة
0.60	0.50	0.30	التسطح: 0-5%
0.70	0.60	0.40	الميل: 5-10%
0.82	0.72	0.52	الارتفاع: 10-30%

2.4.17 شدة الهطول I

تقوم شدة الهطول المستعملة في معادلة معدل السيل الأعظمي على مدة هطول وافصل تكراري محددين. وتعتمد قيمة فاصل التكرار المستعملة في الحساب على أهمية المشروع. فالمصاطب ومجاري المياه تُصمَّم لفاصل تكراري يساوي 10 سنوات، في حين أن قنوات التصريف في السدود تُصمَّم لفاصل تكراري يصل حتى مئة سنة أو أكثر. وتحدد المدة المستعملة في المعادلة بمدة التركيز في حوض السيل.

3.4.17 مدة التركيز

تُعرف مدة تركيز حوض السيل بالمدة اللازمة للماء للجريان من أقصى نقطة في الحوض إلى المصب. ويحصل المعدل الأعظمي عندما يُسهم كامل الحوض في مياه السيل.

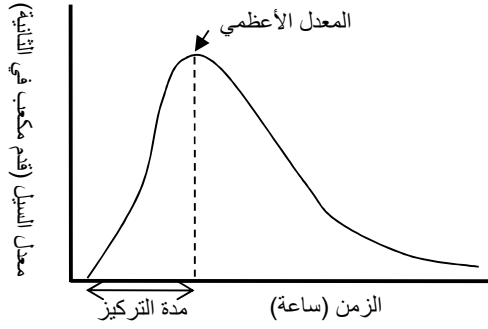
ويتأثر تدفق السيل الأعظمي بكثير من العوامل. وفي ما يخص اهتماماتنا في هذا الكتاب، العاملين الوحيدان اللذان سوف ننظر فيهما هنا هما ميل مجرى التصريف وطوله. فمن الواضح أنه إذا كان المجرى قصيراً ومائلاً،

وصل الماء إلى المصب بسرعة أكبر، وكانت مدة التركيز أقصر. يتضمن الجدول 2.17 مدة التركيز لأحواض سيل صغيرة ذات أطوال وميول مجرى مختلفة.

الجدول 2.17 مدة التركيز في أحواض السيل الصغيرة (مقدرة بالدقيقة).

تدرُّج (ميل) المجرى (%)						مسافة الجريان العظمى (قدم)
5.00	2.00	1.00	0.50	0.10	0.05	
3	4	6	7	13	18	500
5	7	9	11	23	30	1000
9	12	16	20	39	51	2000
15	21	27	33	66	86	4000
20	29	37	46	91	119	6000
25	36	47	57	114	149	8000
30	42	55	67	134	175	10000

تتضمن معادلة معدل السيل الأعظمي ثلاثة متغيّرات هي C و I و A . ويجب تحديد قيمة لكل منها بغية استعمال المعادلة. وتتحدّد قيمة C من الجدول 1.17. أما قيمة I فهي معقدة ويجري تحديدها باستعمال شدة الهطول ومدته وفاصل تكراره الزمني من الشكل 10.16. ولإيجاد شدة الهطول من هذا الشكل، تجب معرفة مدة الهطول وفاصل تكراره الزمني. وفي المعادلة تتحدّد المدة من مدة التركيز. ومدة التركيز هي المدة التي تنقضي من بداية الهطول حتى حصول المعدل الأعظمي للسيل. انظر الشكل 4.17.



الشكل 4.17 مدة التركيز.

وبعد تحديد مدة التركيز من الجدول 1.17، وبافتراض معرفة فاصل التكرار الزمني المطلوب، يمكن استعمال الشكل 10.16 لتحديد شدة الهطول.

مسألة: حدّد المعدل الأعظمي للسيل في حوض يتألف من 90.0 إيكراً من مرعى ذي تربة متماسكة وميل وسطي يساوي 4.0%. ويساوي طول مجرى التصريف في الحوض 4,000 قدم تقريباً، ويساوي ميله 0.5%. افترض فاصل تكرار زمني يساوي 10 سنوات.

الحل: لإيجاد الجواب يجب تحديد قيمة كل من المتغيرات الثلاثة في معادلة معدل السيل الأعظمي باستعمال الجدول 1.17، والجدول 2.17، والشكل 10.16. والقيم الصحيحة التي يجب استعمالها مبيّنة في الجدول 3.17 والجدول 4.17 والشكل 5.17. والجواب هو أن شدة الهطول تساوي $I = 4.4 \text{ in/hr}$.

الجدول 3.17 معامل السيل C للمسألة السابقة.

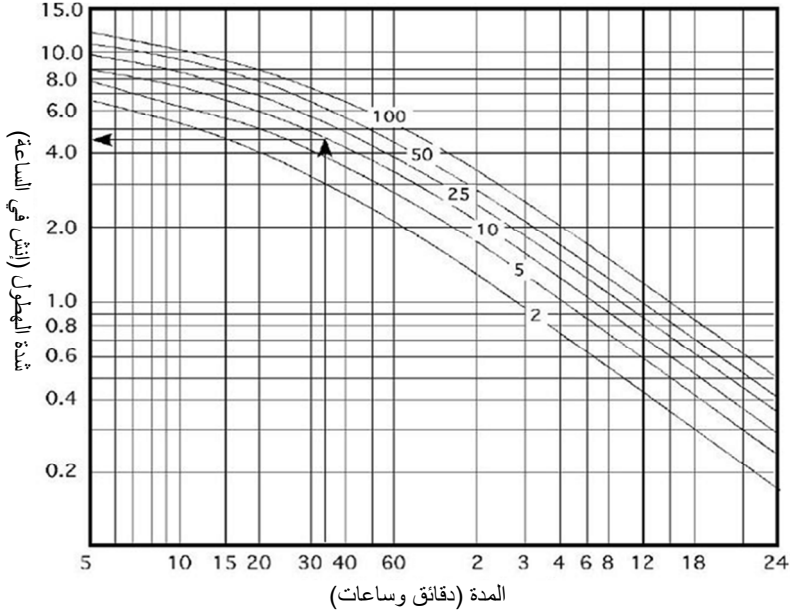
نوع التربة			التضاريس والنباتات والميل
تربة متماسكة	صلصال طميي	صلصال رملي	
غابة			
0.40	0.30	0.10	التسطح: 0-5%
0.50	0.35	0.25	الميل: 5-10%
0.60	0.50	0.30	الارتفاع: 10-30%
مرعى			
0.40	0.30	0.10	التسطح: 0-5%
0.55	0.36	0.16	الميل: 5-10%
0.60	0.42	0.22	الارتفاع: 10-30%
أرض مفلوحة			
0.60	0.50	0.30	التسطح: 0-5%
0.70	0.60	0.40	الميل: 5-10%
0.82	0.72	0.52	الارتفاع: 10-30%

القيمة الصحيحة لـ C هي 0.40.

الجدول 4.17 مدة التركيز في أحواض السيل الصغيرة (مقدرة بالدقيقة) للمسألة السابقة.

تدرُّج (ميل) المجرى (%)						مسافة الجريان العظمى (قدم)
5.00	2.00	1.00	0.50	0.10	0.05	
3	4	6	7	13	18	500
5	7	9	11	23	30	1000
9	12	16	20	39	51	2000
15	21	27	33	66	86	4000
20	29	37	46	91	119	6000
25	36	47	57	114	149	8000

تساوي مدة التركيز 33 دقيقة.



الشكل 5.17 شدة الهطول في المسألة السابقة.

بمعرفة أن $C = 0.40$ و $I = 4.5$ in/hr و $A = 90$ ac، يساوي المعدل الأعظمي للسيل:

$$Q = CIA = 0.4 \times 4.5 \frac{\text{in}}{\text{hr}} \times 90 \text{ ac} = 162 \frac{\text{ft}^3}{\text{sec}}$$

في هذا المثال، أفضل تقدير لمعدل للسيل الأعظمي يساوي 162 قدماً مكعباً في الثانية. لاحظ أن الوحدات لا تلغي بعضها في المعادلة، وذلك لأن قيمة C كانت قد حُدِّت بحيث يكون الجواب مقدراً بالقدم المكعب في الثانية.

5.17 تأثير تغيير فاصل التكرار الزمني

يؤثر اختيار فاصل التكرار الزمني تأثيراً كبيراً في المعدل الأعظمي للسيل المتوقع حصوله في حوض السيل. وهذا موضَّح في المثال التالي.

مسألة: بافتراض حوض السيل نفسه المذكور في المثال السابق، احسب معدل السيل الأعظمي عند فواصل التكرار الزمنية التالية: 2، 5، 10، 25، 50، 100 سنة.

الحل: الجدول 5.17. (ملاحظة: يظهر أثر الفاصل التكراري في معدل الهطول، ومن ثمَّ في معدل السيل الأعظمي).

الجدول 5.17 تأثير تغيير فواصل التكرار الزمني في معدل السيل الأعظمي.

فاصل التكرار (سنة)	مدة التركيز (دقيقة)	شدة الهطول (إنش في الساعة)	معامل السيل (C)	مساحة حوض السيل (إيكر)	معدل السيل الأعظمي (قدم مكعب في الثانية)
2	33	3.0	0.40	90	108
5	33	3.8	0.40	90	137
10	33	4.5	0.40	90	162
25	33	5.5	0.40	90	198
50	33	6.3	0.40	90	227
100	33	7.0	0.40	90	252

6.17 أحواض السيل المختلطة

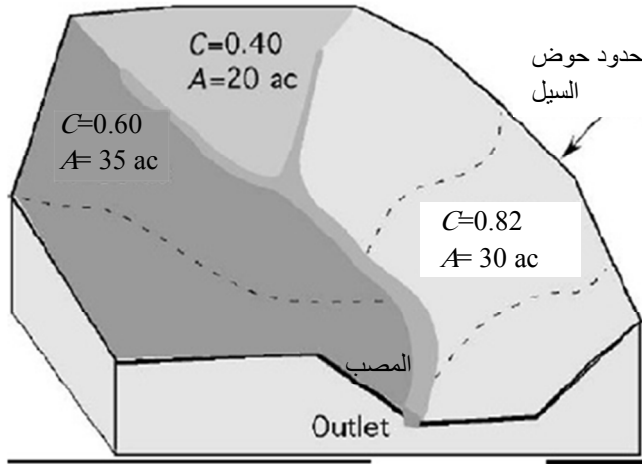
كانت الأمثلة السابقة عن أبسط أنواع أحواض السيول لأنها تضمنت الميل والنباتات ونسيج التربة نفسها في كامل الحوض. وهذا لا يحصل في الطبيعة إلا على مساحات صغيرة جداً. فأحواض السيول تتضمن عادة ميولاً ونباتات

وأشأن تربة وأشألاً زراعية مختلفة. وكل هذه المتغيرات تؤثر في قيمة C ، ومن ثم في معدل السيل المحسوب. وللتعامل مع حوض سيل متغير الصفات من الضروري حساب معامل السيل الموزون C_w الخاص به.

يتحدد معامل السيل الموزون بإيجاد قيمة C الملائمة لكل حقل أو جزء مختلف من الحوض، ثم ضرب تلك القيمة بمساحة الجزء المقدرة بالإيكر، وجمع تلك الجداءات وتقسيم الناتج على مساحة الحوض الكلية.

ادرس الشكل 6.17 والمعادلة التالية:

$$C_w = \frac{A_1 C_1 + A_2 C_2 + \dots + A_n C_n}{\sum A}$$



الشكل 6.17 مثال لحوض سيل مختلط.

مسألة: حدّد قيمة C الموزون لحوض السيل المبين في الشكل 6.17.

الحل:

$$\begin{aligned}C_w &= \frac{A_1 C_1 + A_2 C_2 + A_3 C_3}{\sum A} \\&= \frac{(35 \times 0.60) + (20 \times 0.40) + (30 \times 0.82)}{35 + 20 + 30} \\&= \frac{21 + 8 + 24.6}{85} = \frac{53.6}{85} = 0.6305 \dots \text{or } 0.63\end{aligned}$$

تساوي قيمة C الموزون 0.63.

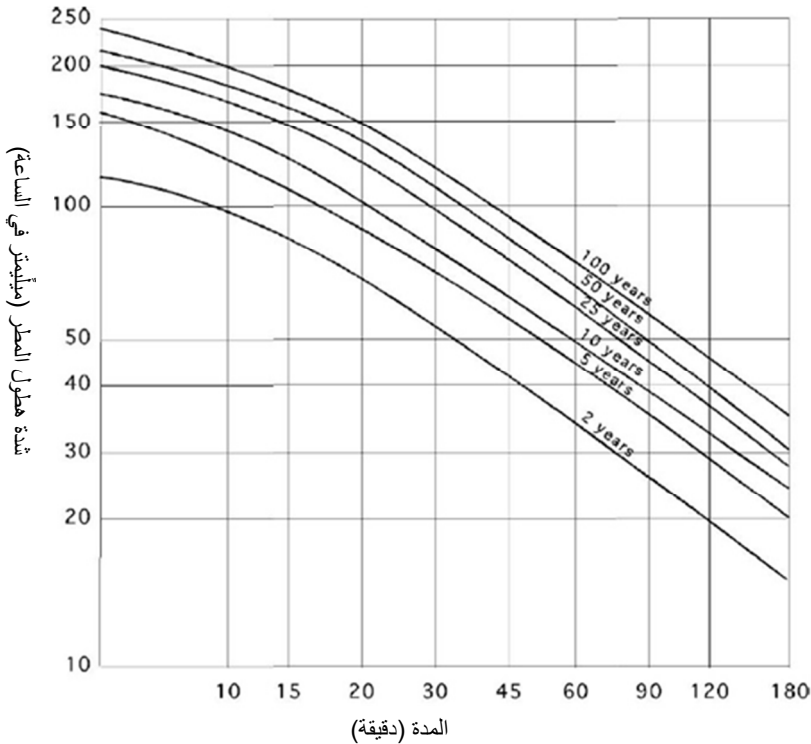
7.17 مسائل بالوحدات المترية

طُوّرت معادلة معدل السيل الأعظمي في ثمانينيات القرن التاسع عشر في الولايات المتحدة باستعمال الوحدات العادية السائدة آنئذ. ولاستعمالها مع الوحدات المترية، ثمة خياران أمام المستعمل. الأول هو استعمال البيانات المعتمدة وتحويل الجواب من قدم مكعب في الثانية إلى متر مكعب في الثانية، وذلك بتقسيمه على 360:

$$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{sec}} \right) = \frac{CIA}{360}$$

حيث Q هو معدل السيل الأعظمي مقدراً بالمتري المكعب في الثانية، و A هي مساحة حوض التصريف بالهكتار، و C هو معامل السيل (الموزون)، و I هي شدة هطول المطر مقدرة بالمليمتري في الساعة، و 360 هو ثابت التحويل.

أما الطريقة الثانية فهي استعمال الجداول والمخططات التي تُستعمل فيها الوحدات المترية. وحينئذ، يُؤخذ معامل السيل من الجدول 6.17، وتؤخذ مدة التركيز من الجدول 7.17، وتؤخذ شدة الهطول من الشكل 7.17.



الشكل 7.17 شدة الهطول ومدته وفاصل تكراره بالوحدات المترية.

الجدول 6.17 قيم موسى بها لمعامل السيل لأراض مختلفة باستعمال الوحدات المترية.

مجموعات التربة المائية*					
D	C	B	A	الوصف	نوع الأرض
0.88	0.81	0.67	0.49	من دون معالجة حماية	أرض مفلوحة
0.67	0.67	0.43	0.27	مع معالجة حماية	
0.84	0.78	0.63	0.38	حالة سيئة	مرعى، نباتات طبيعية
0.65	0.51	0.25	-	حالة جيدة	
0.61	0.41	-	-	حالة جيدة	
0.70	0.59	0.34	-	تربة رقيقة، غطاء سيء، بلا أوراق أشجار على الأرض	غابة
0.59	0.45			غطاء جيد	
					أماكن مفتوحة، مرج، حدائق، ملاعب غولف، مدافن
0.65	0.51	0.25	-	غطاء عشبي بنسبة 75% أو أكثر	حالة جيدة
0.74	0.63	0.45	-	غطاء عشبي بنسبة 50 - 75%	حالة متوسطة
0.96	0.93	0.90	0.84	كتامة 85%	مناطق تجارية ومكاتب
0.92	0.88	0.81	0.67	كتامة 72%	مدن صناعية
				كتامة وسطية %	مناطق سكنية
					مساحة المنطقة (إيكر)
0.90	0.86	0.76	0.59	65	1/8
0.80	0.70	0.55	0.29	38	1/4
0.78	0.67	0.49	-	30	1/3
0.76	0.65	0.45	-	25	1/2
0.74	0.63	0.41	-	20	1
0.99	0.99	0.99	0.99	مواقف سيارات، أماكن مسقوفة، شوارع فرعية... إلخ	مناطق معبّدة
0.99	0.99	0.99	0.99	معبّدة مع حواجز ومصارف مطر	شوارع وطرق
0.88	0.84	0.76	0.57	حصى	
0.84	0.80	0.69	0.49	تراب	

ملاحظة: تقوم القيم على تعاريف إدارة خدمات حماية الموارد الطبيعية الأمريكية الـ NRCS، وهي قيم وسطية.

المصدر:

Technical Manual for Land Use Regulation Program, Bureau of Inland and Coastal Regulations, Stream Encroachment Permits, New Jersey Department of Environmental Protection.

* **تربة المجموعة A:** رشح شديد (سيل ضعيف). رمل، رمل دُبالي، دُبال رملي. معدل الرشح < 0.3 إنش في الساعة عندما تكون مبلولة.

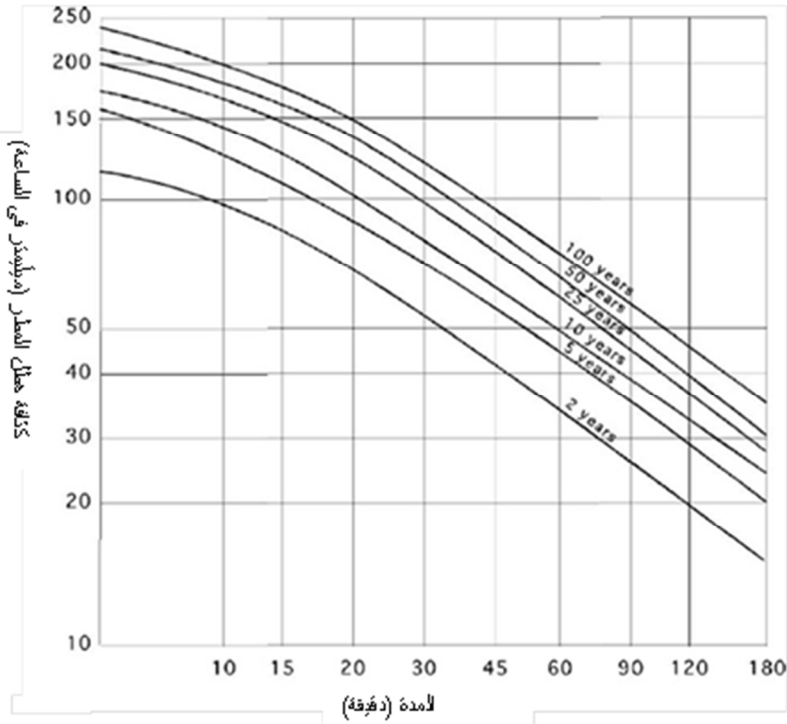
تربة المجموعة B: رشح معتدل (سيل معتدل). طمي دُبالي أو دُبال. معدل الرشح من 0.15 حتى 0.3 إنش في الساعة عندما تكون مبلولة.

تربة المجموعة C: رشح ضعيف (سيل معتدل حتى قوي). دُبال صلصالي رملي. معدل الرشح من 0.05 حتى 0.15 إنش في الساعة عندما تكون مبلولة.

تربة المجموعة D: رشح ضعيف جداً (سيل قوي). دُبال صلصالي، دُبال صلصالي طميي، صلصال رملي، صلصال طميي، صلصال. معدل الرشح من 0 حتى 0.05 إنش في الساعة عندما تكون مبلولة.

الجدول 7.17 مدة التركيز (بالدقائق) بالوحدات المترية.

طول مجرى التصريف (متر)								تغير ارتفاع المجرى (متر)
2000	1500	1000	500	250	200	150	100	
120	85	55	23	11	8	6	4	1
95	65	40	18	8	6.5	4.5	3	2
65	44	29	13	6	4.5	3	2	5
50	36	22	9	4.5	3.5	2.4	1.5	10
42	33	20	8	4	3	2	1.25	15
40	27	17	7	3.5	2.5	1.75	0.25	20



الشكل 7.17 كثافة الهطل ومدته وفصل تكراره بالوحدات المترية.

مسألة: حدّد معدل السيل الأعظمي لحقل مفلوح مساحته تساوي 5 هكتارات ويخضع لإجراءات حماية، وترتبه من النوع B. ويتصف مجرى السيل بتغيّر في الارتفاع يساوي 2 مترين وبطول يساوي 1000 متر. ويتطلب التصميم فاصل تكرار زمني يساوي 25 سنة.

الحل:

$$Q \left(\frac{m^3}{sec} \right) = 0.43 \times 120 \times 50 / 360$$

$$= 7.166 \frac{m^3}{sec}$$

18.

تآكل التربة والحد منه

1.18 الأهداف

1. فهم تطوُّر التربة.
2. فهم أسباب تآكل التربة.
3. التمكن من تحديد نوعي التآكل.
4. تحديد معدل التآكل باستعمال معادلة ضياعات التربة الشاملة.
5. التمكن من شرح الطرائق العامة للحد من التآكل.

2.18 تقديم

التربة هي مورد معقد دائم التغيُّر. وهي تؤثر في حياة النباتات، ومن ثمَّ في حياة الحيوانات، وتتأثَّر بالنباتات والحيوانات. وهي الوسط الرئيسي للزراعة، فهي توفِّر الغذاء والماء للنباتات، ومكاناً لاحتضان جذورها. وهي ذات قيمة اقتصادية، ولذا فإن أي ضياع من إنتاجها هو خسارة اقتصادية. وتتصف التربة السطحية بالقيمة العظمى لأنها المصدر الرئيسي للمغذيات والكيماويات والبذور، وهي ذات مقدرة على الاحتفاظ بالماء وبالمادة العضوية. وتتكوَّن التربة وتتدمَّر بالتآكل، وفي هذا الفصل، سوف نناقش تطوُّرها وتفكُّكها وحمايتها.

3.18 تطوّر التربة

تتكوّن التربة وتتدمّر بالتآكل. فهي تتولّد بالحت الجيولوجي لمواد بركانية أو رسوبية. وفي أثناء تفتيت قوى الطبيعة، المتمثلة بالرياح والماء وتغيّر درجات الحرارة، للمادة الأصلية، يتناقص حجم الجسيم المفتت تدريجياً، وتمتزج الجسيمات المفتتة مع المغذيات والماء والمادة العضوية. أما المعدل الدقيق للتفتت فهو موضع خلاف، إلا أن أحد التقديرات يقول إن تكوّن 1 إنش (2.54) ميليمتراً من التربة السطحية يستغرق من 100 حتى 1,000 سنة.

4.18 أسباب التآكل

يُعتبر التآكل التدميري عملية طبيعية. فالأنهار فاضت باستمرار وجرفت ضفافها، وأدت العواصف العاتية إلى سيول قوية جرفت التربة وتركتها في مجاري المياه والأحواض والبرك. إلا أن المشكلة هي أن كثيراً من أنشطة البشر تُسرّع التآكل الطبيعي. وتتدمّر إنتاجية التربة بالتآكل الذي يسببه البشر أو الذي يسرّعونه والذي ينجم عن ممارسات زراعية أو إنشائية سيئة. أما الأرض ذات النباتات الدائمة فهي مستقرة جداً، لكن حين إزالة النباتات منها تتعرّض إلى هطول المطر وقوى الطبيعة الأخرى ويتسارع التآكل. وتؤدي الأنشطة، مثل شق الطرق وتشديد المباني وفلاحة الحقول وقطع الغابات، جميعاً إلى إزالة غطاء الحماية الطبيعي. وسوف نناقش في المقطع التالي عاملي التآكل المتمثلين بالماء والرياح، ثم نعرض طريقة لتقدير كمية التربة التي تضيع بالتآكل المائي.

5.18 نوعان من التآكل

1.5.18 التآكل المائي

يعتمد مقدار التآكل الناجم عن الماء على أربعة عوامل هي: المناخ والتربة والنباتات والتضاريس. ويتجلى مفعول المناخ في مقدار المطر وشدته. فكلما كان الهطول السنوي أكبر، كان احتمال التآكل المائي أكبر. وكلما ازداد تواتر حصول العواصف الشديدة، ازداد احتمال التآكل المائي أيضاً.

ويتعلق مقدار تآكل التربة بمقاسات جُسيماتها ونسبة الرطوبة فيها. وتخضع التربة الرملية والعضوية إلى أكبر مقدار من التآكل بالماء. فهي غير متماسكة، خاصة عندما تكون مبلولة، ولذا تتحرك جسيماتها مع الماء بسهولة.

وتؤدي النباتات دوراً هاماً في درء التآكل المائي. فهي تقلل من طاقة قطرات الماء الحركية التي تصطدم بالتربة، ولذا تقلص إزاحة التربة. وفي الحقول الزراعية، تؤدي بقايا النباتات الموجودة في التربة وفوقها الوظيفة نفسها التي تؤديها النباتات الطبيعية. ويمكن تحديد مقدار البقايا النباتية بمد شريط قياس طوله 100 قدم عشوائياً في الحقل وعد علامات القدم فيه التي تقع فوق البقايا أو تلامسها. ويُمثل هذا العدد نسبة البقايا المئوية في الحقل. إذا كانت ثمة أربع علامات قدم فوق قطعة من البقايا، كانت النسبة 4%. وتعتمد النسبة المئوية الدنيا الموصى بها على الموقع وعلى نوع التربة.

أما مفعول التضاريس فيقترن بميل الأرض. فكلما كان الميل أكبر، كان احتمال التآكل المائي أكبر.

تساعد هذه العوامل الأربعة على التنبؤ بنوع التآكل المائي الذي يحصل وبمقداره. يُقسم التآكل المائي عادة إلى ثلاثة أنواع هي: التآكل بقطرة المطر، والتآكل بطبقة الماء السطحية وتكوّن القنوات، والتآكل الأخدودي. ويحصل التآكل بقطرة المطر حين تبعثر التربة نتيجة لاصطدام قطرة الماء بجزيئات التربة. فإذا كانت التربة مغطاة بالنباتات، انعدم التآكل بقطرات المطر تقريباً. أما إذا كانت التربة عارية ومفلوحة، فإن التآكل بقطرات المطر يمكن أن يكون كبيراً. ويُقدّر أنه يمكن أن تقذف قطرة المطر بجسيمات التربة مسافة قدمين عمودياً إلى الأعلى وخمسة أقدام أفقياً. ويزداد مفعول التآكل بقطرات المطر مع ازدياد ميل الأرض بسبب وجود إمكانية أكبر للحركة على المنحدر باتجاه الأسفل.

ويمثّل التآكل بطبقة الماء والقنوات النوعين الآخرين، إلا أنهما يُضمان معاً لأن كثيراً من الخبراء يعتقدون أن التآكل بطبقة الماء يحصل نظرياً فقط. فعندما تتجاوز شدة هطول المطر معدل رشح التربة، يبدأ الماء بالحركة على سطحها على شكل طبقة رقيقة. وعندما تبدأ تلك الحركة، تتكوّن قنوات صغيرة واضحة. لكن تلك القنوات تزول بالحرارة ويمكن إغفالها بسهولة، مع أنها تُعتبر مسؤولة عن معظم فقدان التربة بالتآكل المائي.

أما التآكل الأخدودي فهو النوع الأخير. والأخاديد هي مرحلة متقدمة من القنوات الصغيرة، وتزول الصغيرة منها بالحرارة، إلا أنها إذا لم تُعالج أصبحت كبيرة جداً واقتصررت الحرارة حينئذ على ما حولها.

2.5.18 التآكل بالرياح

لا تكون حركة التربة المتآكلة بالرياح باتجاه الأسفل على المنحدرات كذلك التي تحصل في التآكل المائي، بل يتحدّد اتجاهها باتجاه الرياح. وعندما تكون

التربة مغطاة تماماً بالنباتات، يكون التآكل بالرياح قليلاً جداً لأن النباتات تخفّض سرعة الرياح عند سطح التربة. لكن عندما تكون ثمة منافذ للرياح إلى سطح التربة، يمكن التآكل أن يحصل. وتحدّد سرعة الرياح ورطوبة التربة ومقاسات جُسيمات التربة مقدار التآكل ونوعه. فكلما كانت سرعة الرياح أكبر، كان مقدار التربة وحجم الجُسيمات التي يمكن الرياح أن تحملها أكبر. وتتأثّر التربة الرملية الناعمة بالرياح أكثر من التربة الصلصالية. وتتآكل التربة الجافة على نحو أسهل من تآكل التربة الرطبة.

لا يُصنّف التآكل بالرياح في فئات أو أنواع، بل يختلف بدرجاته (أو مراحل). فثمة ثلاث درجات من الحركة يمكن أن تحصل معاً في آن واحد. الأول هو التعلق في الهواء، ويحصل عندما تكون جُسيمات التربة ناعمة، وتكون سرعة الرياح عالية بقدر يكفي لإبقاء الجُسيمات معلقة في الهواء. ويمكن الجُسيمات الناعمة جداً أن تطير مبتعدة مئات الأميال. والنوع الثاني هو القفز والارتداد، أو الوثب. وتُعتبر الرياح في هذه الحالة مسؤولة عن أكبر مقدار من حركة التربة. وفي حالة الوثب، لا تكون الرياح قوية بقدر كاف لحمل جُسيمات التربة وإبقائها معلقة في الهواء، بل تكفي لحملها مسافة قصيرة لتسقط بعدئذ. أما النوع الثالث فهو الدرجة والزحف، وفيه تدفع الرياح الجُسيمات أو تُدحرجها على سطح التربة من دون أن تحملها.

أما العوامل الخمسة المستعملة لتقدير التآكل بالرياح فهي قابلية التآكل والمناخ وخشونة التربة وطول الحقل والنباتات. ولتقدير كمية التآكل بالرياح في موقع معيّن، راجع إدارة خدمات حماية الموارد الوطنية (الأميركية) (National Resource Conservation Service) (NRCS).

6.18 تقدير ضياعات التربة

وُضِعَت معادلتان لتقدير ضياعات التربة بالتآكل بالماء والرياح، وتسمّى الأولى بمعادلة ضياعات التربة الشاملة بالماء (USLE) (Universal Soil Loss Equation)، وتسمّى الثانية بمعادلة التآكل بالرياح (WEQ) (Wind Erosion Equation). وقد حُدِّثَت معادلة الماء وصدرت نسخة جديدة منها سُمِّيت بمعادلة ضياعات التربة الشاملة المنقّحة (RUSLE) (Revised Universal Soil Loss Equation)، وثمة نسخة أخرى منها تسمّى معادلة ضياعات التربة الشاملة المنقّحة الثانية، وهي برنامج حاسوبي. أما معادلة الرياح فهي برنامج حاسوبي أيضاً يمكن الحصول عليه من إدارة خدمات حماية الموارد الوطنية (الأميركية). وأما معادلة الماء فهي:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

حيث A هي ضياعات التربة السنوية الوسطية المتوقّعة المقدّرة بالطن للإيكر في السنة، و R هو عامل هطل المطر، و K هو عامل قابلية التربة للتآكل، و L هو عامل طول المنحدر، و S هو عامل تدرُّج الميل، و C هو عامل إدارة إنتاج المحاصيل، و P هو عامل إجراءات الحد من التآكل.

في ما يخص هذه المناقشة، سوف نضم بعض العوامل معاً لتكوين المعادلة التالية:

$$A = R \times K \times LS \times CP$$

تُستعمل في معادلة ضياعات التربة الشاملة قيم عددية لتلك العوامل، ولذا فإن دقة الضياعات المحسوبة لا تتجاوز دقة تلك القيم العددية. ويُستعمل المخطط والجدول العامة المُدرّجة هنا لبيان مفاعيل تلك العوامل، وللمساعدة على فهم

المسألة، لكن يجب عدم استعمالها لتصميم بُنى لحماية التربة أو لتقدير ضياعات التربة في البرامج الحكومية، بل يمكن الحصول على قيم أكثر دقة من إدارة خدمات حماية الموارد القومية (الأميركية) أو الإدارات المشابهة لها.

1.6.18 عامل هطول المطر R

يُعبّر عامل هطل المطر عن كثافات ومدد الهطول المتوقعة. وتمتد القيم الشائعة لـ R من 100 حتى 350. ويجب استعمال قيم أكبر في المناطق ذات معدلات الهطول السنوية والشدات العالية. وتلك القيم متوافرة في مواقع معينة في الويب من مصادر حكومية.

2.6.18 عامل قابلية التربة للتآكل K

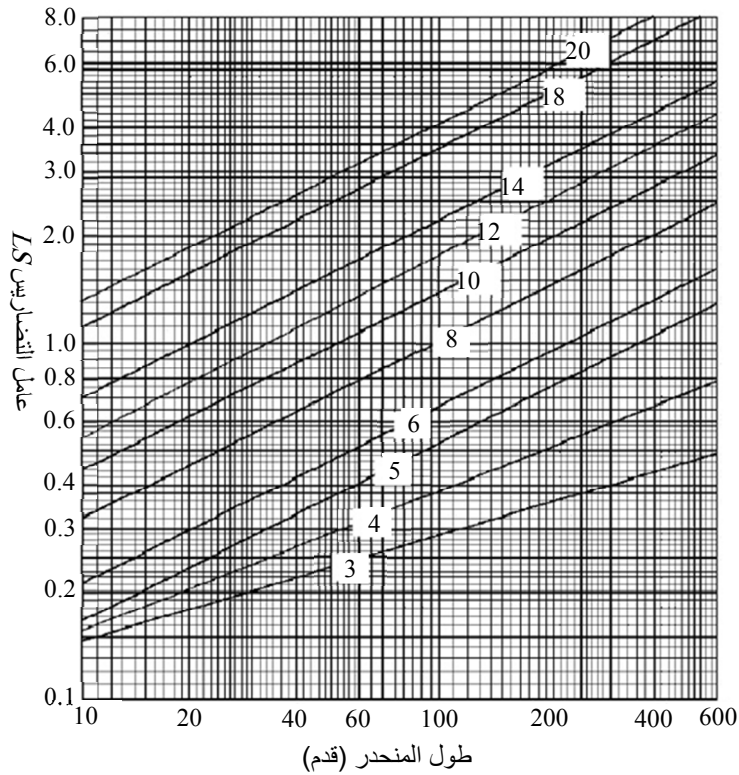
يُعبّر العامل K عن قابلية التربة للتآكل. وتؤثر بنية التربة ومحتواها من المادة العضوية ونفاذيتها في قيمة هذا العامل. وتقوم قيم K المعطاة في الجدول 1.18 على أساس أرض افتراضية لم تزرع مدة طويلة، وذات منحدر طوله يساوي 72.6 قدماً وميل يساوي 9%، مع نسب مختلفة من المادة العضوية.

3.6.18 عامل التضاريس LS

يُعبّر عامل التضاريس عن ضياعات التربة المتوقعة من الحقل مقارنة بحقل افتراضي ذي منحدر طوله يساوي 72.6 قدماً وميل يساوي 9%. وهو تركيب من طول المنحدر ونسبة الميل المئوية. ويمكن الحصول على تقدير لـ LS من الشكل 1.18.

الجدول 1.18 عامل قابلية التآكل K (طن للإيكر).

النسبة المئوية للمادة العضوية			نسيج التربة
4.0	2.0	0.5	
0.10	0.14	0.16	رمل ناعم
0.28	0.36	0.42	رمل ناعم جداً
0.08	0.10	0.12	رمل دُبالي
0.30	0.38	0.44	رمل دُبالي ناعم جداً
0.19	0.24	0.27	دُبال رملي
0.33	0.41	0.47	دُبال رملي ناعم جداً
0.33	0.42	0.48	دُبال طميي
0.21	0.25	0.28	دُبال صلصالي
0.26	0.32	0.37	دُبال صلصالي طميي
0.19	0.23	0.25	صلصال طميي



الشكل 1.18 عوامل تضاريس LS نموذجية لميول من 3 حتى 20% وأطوال منحدرات من 10 حتى 600 قدم.

4.6.18 معامل إدارة إنتاج المحاصيل وإنتاجها CP

فُصل في معادلة ضياعات التربة الشاملة الأصلية عامل إدارة إنتاج المحاصيل وأنواعها C عن عامل إجراءات الحد من التآكل P وجُعلا حدين مختلفين. أما في هذه المناقشة فقد جرى ضمهما معاً. يُستعمل عامل إدارة إنتاج المحاصيل لتقدير الكفاءة النسبية لإجراءات إعاقَة ضياع التربة مقارنة بحقل يُحرث باستمرار. والعامل P هو تقدير لمفعول إجراءات الحماية في تقليل ضياعات التربة. ويمثّل هذان العاملان بعد ضمهما معاً تابعاً لنوع

المحصول المزروع، والإجراءات الإدارية وتاريخ الزرع ومقدار البقايا على السطح وإجراءات الحراثة. ويتضمن الجدول 2.18 قيم هذه العوامل.

الجدول 2.18 عوامل نموذجية في إدارة إنتاج المحاصيل CP.

إجراءات إنتاج المحاصيل			
المحصول	على المنحدر إلى الأعلى والأسفل	على المصاطب وحدود الحقل	على الحدود الخارجية
حبوب صغيرة مع بقايا متوسطة مطمورة (6/20)، زراعة مستمرة	0.29	0.21	0.15
حبوب صغيرة مع بقايا ثقيلة مطمورة (6/20)، زراعة مستمرة	0.22	0.21	0.11
حبوب صغيرة مع بقايا متوسطة مطمورة (8/1)، زراعة مستمرة	0.22	0.16	0.11
حبوب صغيرة مع بقايا ثقيلة مطمورة (8/1)، زراعة مستمرة	0.18	0.13	0.09
حبوب صغيرة مع بقايا على السطح حين البذر، زراعة مستمرة	0.12	0.09	0.06
قطن مع سماد متوسط من دون غطاء شتوي، زراعة مستمرة	0.59	0.42	0.30
حبوب ذرة سكرية صغية (25-30 بُشِل)، زراعة مستمرة	0.48	0.34	0.24
حبوب ذرة سكرية صغية (35-45 بُشِل)، زراعة مستمرة	0.42	0.30	0.21
فول سوداني مع غطاء شتوي	0.43	0.30	0.22
فول سوداني من دون غطاء شتوي	0.54	0.38	0.27
فصّة (فصّصة) 5 سنوات/ حبوب صغيرة 2 سنة	0.05	0.05	0.05

مسألة: قدر التآكل السنوي لحقل يساوي عاملُ الهطول المطري فيه 220، ويتألف في المقام الأول من رمل دُبالي مع 2% مادة عضوية، ويساوي ميله الوسطي 4% وطول منحدره 400 قدم، ويُزرع بحبوب صغيرة زراعة مستمرة في شهر حزيران/ يونيو عادة، مع بقايا متوسطة مطمورة، ويُزرع إلى أعلى المنحدر وأسفله.

الحل: باستعمال معادلة ضياعات التربة الشاملة والجداول المناسبة والشكل ينتُج:

$$A = R \times K \times LS \times CP$$

$$R = 220 \quad \text{حيث:}$$

$$K = 0.10 \quad \text{من الجدول 3.18:}$$

$$LS = 0.73 \quad \text{من الشكل 2.18:}$$

$$CP = 0.29 \quad \text{من الجدول 4.18:}$$

$$A = R \times K \times LS \times CP = 220 \times 0.10 \times 0.73 \times 0.29$$

$$= 4.6574 \text{ or } 4.6 \text{ T/ac/yr}$$

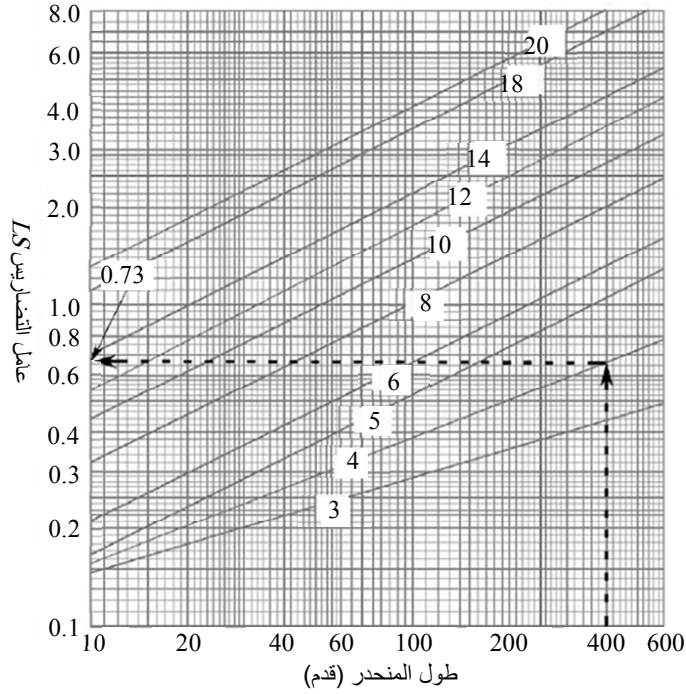
الجدول 3.18 عامل قابلية التآكل K (طن للإيكر) للمسألة السابقة.

النسبة المئوية للمادة العضوية			نسيج التربة
4.0	2.0	0.5	
0.10	0.14	0.16	رمل ناعم
0.28	0.36	0.42	رمل ناعم جداً
0.08	0.10	0.12	رمل دُبالي
0.30	0.38	0.44	رمل دُبالي ناعم جداً
0.19	0.24	0.27	دُبال رملي
0.33	0.41	0.47	دُبال رملي ناعم جداً
0.33	0.42	0.48	دُبال طميي
0.21	0.25	0.28	دُبال صلصالي
0.26	0.32	0.37	دُبال صلصالي طميي
0.19	0.23	0.25	صلصال طميي

قيمة K تساوي 0.01.

الجدول 4.18 قيمة CP للمسألة السابقة.

إجراءات إنتاج المحاصيل			المحصول
على الحدود الخارجية	على المصاطب وحدود الحقل	على المنحدر إلى الأعلى والأسفل	
0.15	0.21	0.29	حبوب صغيرة مع بقايا متوسطة مطمورة (6/20)، زراعة مستمرة
0.11	0.21	0.22	حبوب صغيرة مع بقايا ثقيلة مطمورة (6/20)، زراعة مستمرة
0.11	0.16	0.22	حبوب صغيرة مع بقايا متوسطة مطمورة (8/1)، زراعة مستمرة
0.09	0.13	0.18	حبوب صغيرة مع بقايا ثقيلة مطمورة (8/1)، زراعة مستمرة
0.06	0.09	0.12	حبوب صغيرة مع بقايا على السطح حين البذر، زراعة مستمرة
0.30	0.42	0.59	قطن مع سماد متوسط من دون غطاء شتوي، زراعة مستمرة
0.24	0.34	0.48	حبوب ذرة سكرية صفية (25-30 بُشيل)، زراعة مستمرة
0.21	0.30	0.42	حبوب ذرة سكرية صفية (35-45 بُشيل)، زراعة مستمرة
0.22	0.30	0.43	فول سوداني مع غطاء شتوي
0.27	0.38	0.54	فول سوداني من دون غطاء شتوي
0.05	0.05	0.05	فصّة (فصيفة) 5 سنوات/ حبوب صغيرة 2 سنة



الشكل 2.18 قيمة LS للمسألة السابقة.

7.18 الحد من التآكل

إن أفضل نهج للحد من التآكل هو منع حدوثه بدلاً من محاولة إصلاحه في ما بعد. لكن ليس ثمة من حل مفضل ناجح للحد منه في كل الحالات، بل يجب تطوير وسائل لمنع الحد منه لكل موقع على حدة باستعمال الموارد المتاحة فيه.

وفي ما يخص الأرض المفلوحة، فإن أفضل طريقة هي اتخاذ إجراءات تقلل من مفاعيل الريح والماء في جسيمات التربة. ولمنع التآكل المائي من الضروري توفير أكبر قدر ممكن من الحماية لسطح التربة. ويتضمن ذلك إدارة

أعمال الفلاحة بحيث تُترك بقايا نباتية على سطح التربة واستعمال مزروعات لتغطية التربة في مواسم عدم الإنتاج. ويتحقق نوع آخر من الحماية بتقليص طول المنحدر المستمر بإنشاء المصاطب. ولتوضيح تأثيرات هذه الإجراءات سوف نكرّر حل المسألة السابقة باستعمال قيم ملائمة للمصاطب والبقايا النباتية.

مسألة: قدر التآكل السنوي لحقلٍ يساوي عامل هطول المطر فيه 220، وتتكوّن تربته في المقام الأول من رمل دُبالي مع 2% من مادة عضوية، ويساوي ميله 4% وسطياً، ويساوي طول المنحدر فيه 200 قدم، ويُزرع بحبوب صغيرة زراعة مستمرة مع وجود بقايا ثقيلة، وذلك في شهر حزيران/يونيو عادة، وهو مفلوح على شكل مصاطب.

الحل:

$$A = R \times K \times LS \times CP = 220 \times 0.10 \times 0.50 \times 0.21 \\ = 2.31 \text{ or } 2.3 \text{ T/ac/yr}$$

في المسألة الأصلية كانت ضياعات التربة تساوي 4.7 أطنان للإيكر في السنة. وبإدخال التعديل أصبحت الضياعات 2.3 طنين للإيكر في السنة، أي إنها تقلّصت بمقدار 50%.

وتساعد البقايا على السطح أيضاً على درء التآكل بالرياح، أما تقليص طول مسافة الانحدار، فلا تأثير له. فالعوامل المهمة في منع التآكل بالرياح، إلى جانب البقايا، هي خشونة السطح والمسافة الخالية من العوائق التي يمكن للرياح أن تهب عليها. ولذا فإن تقليص المسافة الخالية من العوائق يمكن أن يُقلّل من التآكل بكفاءة. وهذا يفسّر شيوع استعمال أحزمة الوقاية في منطقة السهول

الكبرى (في الولايات المتحدة). فحزام الوقاية يوفر حماية باتجاه الرياح مسافة تصل حتى عشرة أمثال ارتفاعه.

وثمة طرائق أخرى ملائمة للحد من كل من التآكل بالماء والرياح في المناطق الصغيرة مدة قصيرة، ومنها مواقع البناء. ومن الإجراءات الشائعة استعمال أسوار بلاستيك أو رزم من القش أو الشباك لمنع التربة من الخروج من الموقع. ويمكن لنصب عوائق مؤقتة للرياح وتغطية الأرض أن يحدّا من التآكل بالرياح.

8.18 مسائل بالوحدات المترية

ليست معادلة ضياعات التربة الشاملة متوافرة بالوحدات المترية، وقد جرى إدراجها هنا لاستعراض العوامل التي يمكن أن تؤثر في تآكل التربة. أما معادلة ضياعات التربة الشاملة المنقّحة فهي متاحة بالوحدات المترية في مواقع مختلفة من شبكة الويب العالمية.

19.

الريّ

1.19 الأهداف

1. فهم الهدف من الريّ واستعماله.
2. التمكن من وصف منظومات الريّ الشائعة.
3. التمكن من حساب سعة منظومة الريّ اللازمة.
4. التمكن من تحديد فواصل الريّ الزمنية وعمق الريّ.

2.19 تقديم

يُعتبر الماء أهم العوامل البيئية المتغيرة المقيدة للإنتاج الزراعي وأكثرها تأثيراً فيه. فحيثما كانت كمية ماء المطر اللازمة غير متوافرة، حاول المزارعون دائماً ري مزروعاتهم. إلا أن ماء الريّ كان قليلاً دائماً، وقد أصبح شحيحاً في كثير من المناطق. وحتى في الأماكن التي يتوافر فيها، ازدادت تكاليف ضخه ونقله ازدياداً كبيراً. واليوم، يعتمد ريح المزروعات المروية على الاستعمال الكفوء للماء. وتعتمد كفاءة استعمال الماء في الريّ على أربعة عوامل، هي:

1. تأثير الريّ في الإنتاج الزراعي.
2. النظام الأفضل لحقل ومصدر ماء معينين.
3. كمية الماء المستعملة في الريّ عند معدل الاستهلاك الأعظمي، ووقت الريّ.

4. جودة عملية الريّ.

وسوف نناقش جوانب الريّ تلك في هذا الفصل.

3.19 تأثير الريّ في الإنتاج الزراعي

تحتاج النباتات لكي تنمو إلى الدفء وأشعة الشمس والمغذّيات والماء. وفي كثير من المناطق في العالم تتوافر درجة الحرارة وأشعة الشمس اللازمتين، أما الماء فليس متوفراً دائماً. لكن جميع النباتات تحتاج إلى مقدار سنوي أصغري من الماء كي تعيش، وإلى كميات سنوية أمثلية لتحقيق الإنتاج الأعظمي. وقد حدّد توفّر الماء عبر التاريخ الأمكنة التي تُمكن زراعة المحاصيل فيها. فمن غير الممكن، مثلاً، زراعة المحاصيل التي توجد حاجة كبيرة إليها، ومن أمثلتها الرز، في الأماكن ذات معدل الهطول السنوي المنخفض. يُضاف إلى ذلك أنه عندما يكون الماء المتوافر للمحصول أقل من المقدار الأمثلي اللازم له، يقل الإنتاج. لذا فإن توفير الماء من خلال الريّ يمكن أن يُعوّض الاحتياجات الناقصة لزراعة النبات. ونتيجة الريّ هي توسيع المنطقة التي تُمكن زراعة بعض المحاصيل فيها، ويزداد إنتاج جميع المحاصيل بالتعويض بالريّ عن النقص في هطول المطر.

4.19 منظومات الريّ

إذا اتُّخذ قرار باعتماد الريّ، فإن الخطوة التالية هي تحديد نوع نظام الريّ الذي يجب استعماله. يُقدّم الماء إلى النبات بوحدة من ثلاث طرائق: من فوق سطح التربة، أو من على سطح التربة، أو من تحت سطح التربة. ويتوقّف الاختيار عادة على التكلفة وعلى تضاريس الأرض. وسوف نراجع في هذا المقطع الأنواع الأساسية من نظم الريّ.

1.4.19 الريّ من فوق سطح التربة

أكثر نظم الريّ من فوق الأرض شيوعاً هي المرذاذات. في هذه المنظومة، يُطلق المرذاذ الماء في الهواء بواسطة ثلاثة أنواع من فوهات النفث: الرشاشة والدوّارة والصادمة. ويمكن استعمال المرذاذات في أي أرض تُمكن فلاحتها. ويمكن المرذاذ أن يكون مجموعة ثابتة (في موضع دائم) أو قابلة للنقل. أما النظم القابلة للنقل الشائعة فهي: (1) مرذاذ المرج اليدوي أو منظومة الأنبوب، (2) والزخافة التي يجرها جرّار أو النظم المحمولة على دواليب، (3) والدراجة الذاتية الحركة ذات الدواليب الجانبية أو نظام الحاقن الكبير، (4) ونظام المحور الذاتي الدفع المركزي والحركة العرضانية. وتُستعمل تعديلات واشتقاقات أخرى من هذه النظم. وتعتمد أفضل المنظومات على تضاريس الحقل وشكله ومقاساته، وعلى مقدار اليد العاملة اللازمة لتحريك نظام الريّ وتكلفته، وعلى القيمة المضافة إلى المحصول بسبب استعمالها. إنه لمن الضروري في نظم المرذاذات ألا يتجاوز معدل تقديم الماء معدل رشح التربة.

2.4.19 الريّ من على سطح التربة

في الريّ السطحي، يسيل الماء على سطح التربة بتأثير قوة الثقالة أو بواسطة صمامات قَطْر (وهي عملية تسمى الريّ بالتنقيط). أما نظم الثقالة الشائعة فهي نظم الريّ بالغمر والريّ الأخدودي. وتتطلب نظم الغمر أرضاً منبسطة حيث يُوزّع الماء ضمن حدود أفقية لها شكل الحواف المرتفعة قليلاً (أكتاف). أما أرض الريّ الأخدودي فتكون مائلة قليلاً. وفي حالة الغمر، يُجلب الماء عادة ضمن مجارٍ سطحية، ويمكن أن تجلب تلك القنوات الماء إلى أخاديد الريّ أيضاً، إلا أنه يمكن استعمال خرطوم ذي مغلاق أو أنبوب سيفوني أيضاً بدلاً منها. والقاعدة هنا هي أن نظم الثقالة تحتاج إلى يد عاملة أكثر من تلك التي

تحتاج إليها نظم المردادات، وذلك للحفاظ على المجاري والأخاديد، ونقل الخرطوم ذي المغلاق، والتحكُّم في تدفق الماء.

أما في الريّ بالتنقيط، فتوضع صمّامات قَطْر على طول خط النبات بفواصل مكانية متماثلة أو عند كل نبتة كبيرة. وتتصف هذه النظم بكفاءة عالية لأن مقداراً صغيراً من الماء فقط يُقدَّم إلى النبتة مباشرة.

3.4.19 الريّ من تحت سطح التربة

أكثر نظم الريّ تحت السطحي شيوعاً هما الأنبوب المسامي المظمور في منطقة جذور النباتات ومنظومة التنقيط المظمورة على طول خط النباتات.

5.19 عمق الريّ

تختلف الاحتياجات اليومية للماء وذروة استهلاكه كثيراً من محصول إلى آخر ومن حقل إلى آخر. والقراران بشأن وقت الريّ وكمية الماء المستهلكة فيه هما أصعب القرارات التي يمكن اتخاذها في إدارة نظم الريّ. وقد جرى تطوير طرائق كثيرة مختلفة للمساعدة على الإجابة عن هذين السؤالين. وسوف نستقصي في ما يلي بعض العوامل المؤثرة في هذين القرارين ونقدّم طريقة لتحديد كمية الماء التي يجب استعمالها والفواصل الزمنية بين عمليات الريّ.

تعتمد كمية الماء التي تستهلكها النباتات على خمسة عوامل هي:

1. طول موسم زراعة المحصول.

2. طول النهار في اليوم.

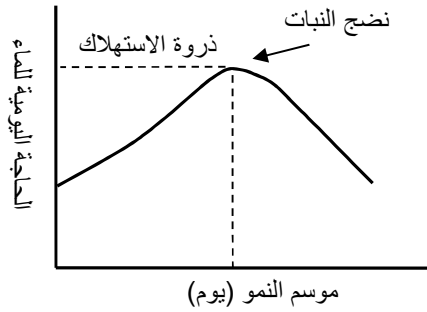
3. درجة الحرارة اليومية.

4. سرعة الرياح واتجاهها.

5. المرحلة التي يكون المحصول قد بلغها في نموه.

يزداد معدل استهلاك النبات اليومي من الماء حتى ينضج، ثم يتناقص. انظر الشكل 1.19. وتحصل ذروة استهلاك الماء في قمة موسم النمو. ويتضمن الجدول 1.19 ذروة الاستهلاك لعدد من المحاصيل لكل من مواسم الزراعة ذات المدد القصيرة والطويلة، مع عمق منطقة الجذر التي يستجرّ النبات منها معظم مائه.

يجب أخذ خاصيتين من خواص التربة في الحسبان حين تحديد كمية الماء التي يجب تقديمها: (1) معدل امتصاص (خزن) التربة للماء، أو معدل الرشح، (2) ومقدار الماء الكلي الذي يمكن خزنه فيها. ويتحدّد معدل الرشح بنسيج التربة، ويتحدّد المقدار الكلي للماء الذي يمكن خزنه بعمق التربة. فالدُّبال والصلصال يستطيعان الإمساك بالماء أكثر من الرمل، وفقاً للمبيّن في الجدول 2.19. لاحظ أيضاً أن نوع التربة التحتية وعمقها يؤثّران في مقدار الماء الذي يمكن خزنه في كل رية. على سبيل المثال، يمكن التربة التحتية المرصوفة أن تخزن كمية كبيرة من الماء مقارنة ببعض التُّرب ذات خواص العمق المتجانسة.



الشكل 1.19 حاجة النبات اليومية للماء.

الجدول 1.19 عمق منطقة الجذر ومعدل استهلاك الماء الأعظمي.

الاستهلاك الأعظمي (إنش في اليوم)			
المحصول	عمق المنطقة التي يمتص الجذر منها الرطوبة (إنش)	مدة موسم النمو 180 - 210 أيام	مدة موسم النمو 210 - 250 يوماً
فصّة	48	0.29	0.32
فاصولياء	24	0.20	0.2
ذرة	36	0.30	0.35
قطن	36	-	0.28
ذرة سكرية	30	20	0.20
بطيخ	30	0.20	0.22
فواكه أخرى	24	0.20	0.22
عشب المرعى	24	0.28	0.30
بازلاء	36	0.19	-
بطاطا	24	0.38	0.20
حبوب صغيرة	30	0.20	0.22
شمندر سكري	36	0.28	0.30
بندورة	48	0.20	0.22
عنب	48	0.22	0.25

ويؤثر عمق جذر النبات أيضاً في مقدار الماء الذي يجب تخزينه. وأي ماء يرشح عبر التربة إلى أعماق أدنى من منطقة الجذر يُعتبر خسارة للنبات. وقد أُخذ ذلك في الحسبان في إنشاء الجدولين 1.19 و 2.19.

بغية استعمال هذين الجدولين، ارجع إلى الجدول 1.19 أولاً من أجل تحديد محصول وطول موسم نمو معينين واحصل على قيمة (1) لعمق منطقة الجذر التي يحصل فيها امتصاص الرطوبة الأساسي (2) ولاستهلاك الماء اليومي الأعظمي. ثم استعمل الجدول 2.19 لتحديد كمية الماء (بالإنش) التي يجب تخزينها في كل رية. لاحظ أنك يجب أن تعرف نوع التربة أو بنيتها التي سوف يحصل الريّ فيها، وعمق منطقة الجذور التي يحصل الامتصاص الرئيسي فيها.

مسألة: ما مقدار عمق منطقة الجذر واستهلاك الماء الأعظمي اليومي والمقدار الصافي من الماء الذي يجب تخزينه في الريّة الواحدة لمحصول الذرة في موقع يساوي طول الموسم فيه 210 أيام وتتألف تربته من دُبال طميي فوق تربة تحتية مرصوفة؟

الجدول 2.19 المقدار الصافي للماء الذي يجب تخزينه في كل رية.

المقدار الصافي للماء الذي يمكن تخزينه (إنش) لأعماق منطقة جذور مختلفة				
نوع التربة	24 إنشاً	30 إنشاً	36 إنشاً	48 إنشاً
تربة رملية خشنة متجانسة حتى 6 أقدام	0.85	1.10	1.30	1.75
تربة رملية خشنة فوق تربة تحتية مرصوفة	1.50	1.75	2.00	2.50
دُبال رملي ناعم متجانس حتى 6 أقدام	1.75	2.20	2.60	3.00

3.25	2.80	2.40	2.00	دُبَال رملي ناعم فوق تربة تحتية مرصوصة
4.00	3.00	2.75	2.25	دُبَال طمبي متجانس حتى 6 أقدام
4.25	3.25	3.00	2.50	دُبَال طمبي فوق تربة تحتية مرصوصة
3.85	2.85	2.40	2.00	صلصال ثقيل أو تربة دُبَال صلصالي

الحل: من الجدول 1.19، يساوي عمق منطقة الجذر 36 إنشاً، ويساوي الاستهلاك اليومي الأعظمي 0.35 إنش في اليوم. ويتضح من الجدول 2.19

الاستهلاك الأعظمي (إنش في اليوم)			
المحصول	عمق المنطقة التي يمتص الجذر منها الرطوبة (إنش)	مدة موسم النمو 180 - 210 أيام	مدة موسم النمو 210 - 250 يوماً
فصّة	48	0.29	0.32
فاصولياء	24	0.20	0.2
ذرة	36	0.30	0.35
قطن	36	–	0.28
ذرة سكرية	30	20	0.20
بطيخ	30	0.20	0.22
فواكه أخرى	24	0.20	0.22
عشب المرعى	24	0.28	0.30
بازلاء	36	0.19	–
بطاطا	24	0.38	0.20
حبوب صغيرة	30	0.20	0.22
شمندر سكري	36	0.28	0.30
بندورة	48	0.20	0.22
عنب	48	0.22	0.25

أن هذه القيم توافق خزن كمية صافية من الماء تساوي 3.25 إنش لكل رية. انظر الجدول 3.19.

الجدول 3.19 المقدار الصافي للماء الذي يجب خزنه في كل رية في المسألة السابقة.

المقدار الصافي للماء الذي يمكن خزنه (إنش) لأعماق منطقة جذور مختلفة				
نوع التربة	24 إنشاً	30 إنشاً	36 إنشاً	48 إنشاً
تربة رملية خشنة متجانسة حتى 6 أقدام	0.85	1.10	1.30	1.75
تربة رملية خشنة فوق تربة تحتية مرصوصة	1.50	1.75	2.00	2.50
دُبال رملي ناعم متجانس حتى 6 أقدام	1.75	2.20	2.60	3.00
دُبال رملي ناعم فوق تربة تحتية مرصوصة	2.00	2.40	2.80	3.25
دُبال طميي متجانس حتى 6 أقدام	2.25	2.75	3.00	4.00
دُبال طميي فوق تربة تحتية مرصوصة	2.50	3.00	3.25	4.25
صلصال ثقيل أو تربة دُبال صلصالي	2.00	2.40	2.85	3.85

ثم حدّد مقدار الماء الذي يجب تقديمه. يجب أن يكون هذا المقدار أكبر من المقدار الذي يجب خزنه لأن نظم الريّ ليست كفوءة 100%. فبعض الماء يتبخّر، وبعضه يسيل بعيداً، ويتسرب بعضه الآخر إلى ما دون منطقة الجذور. ويُستعمل مصطلح كفاءة التقديم لوصف هذه الضياعات، وتُعرّف بأنها النسبة المئوية لمقدار الماء المخزون إلى مقدار الماء المقدم. وتساوي كفاءة التقديم

لنظام ري جيدة التصميم ما بين 60 و 80%. ويمكن استعمال كفاءة التقديم لتحديد مقدار الماء الذي يجب تقديمه على النحو التالي:

$$\text{عمق الماء الذي يجب تقديمه} = \frac{\text{عمق الماء الذي يجب خزنه (إنش)}}{\text{كفاءة التقديم}}$$

أو:

$$DWA = \frac{DWS}{AE}$$

حيث DWA هو عمق الماء الذي يجب تقديمه، و DWS هو عمق الماء الذي يجب خزنه مقدراً بالإنش، و AE هي كفاءة التقديم (قيمة عشرية، لا نسبة مئوية).

مسألة: ما عمق الماء الذي يجب تقديمه لمحصول الذرة في المسألة السابقة عندما تساوي كفاءة التقديم 70%؟

الحل:

$$DWA = \frac{DWS}{AE} = \frac{3.25 \text{ in}}{0.70} = 4.642 \dots \text{ or } 4.64 \text{ in}$$

ومن الضروري أيضاً تحديد فاصل الريّ الزمني (الفاصل بين ريّتين)، أي المدة التي يستغرقها المحصول في استهلاك الماء المخزون في التربة. يتحدّد هذا الفاصل الزمني بتقسيم مقدار الماء المخزون في التربة على استهلاك النبات اليومي. ويساوي فاصل الريّ الزمني في حالة الاستهلاك الأعظمي:

$$IRI = \frac{DWS}{PDU}$$

حيث IRI هو فاصل الريّ الزمني مقدراً بالأيام، و DWS هو عمق الماء المخزون مقدراً بالإنش، و PDU هو استهلاك الماء الأعظمي مقدراً بالإنش في اليوم.

مسألة: ما مقدار فاصل الريّ الزمني لمحصول الذرة في المسألة السابقة؟

الحل:

$$IRI = \frac{DWS}{PDU} = \frac{3.25 \text{ in}}{0.35 \frac{\text{in}}{\text{day}}} = 9.285 \dots \text{ or } 9.3 \text{ day}$$

في حالة محصول الذرة هذا، ونظراً إلى أن 3.25 إنشات من الماء تُخزن في التربة في كل رية، تجب سقاية المحصول مرة كل 9.3 أيام في أيام الاستهلاك الأعظمي.

إذا هطل المطر في أثناء فاصل الريّ الزمني، وجب تعديل ذلك الفاصل تبعاً لمقدار الهطول. على سبيل المثال، إذا هطل 1.25 إنش من المطر على محصول الذرة في المسألة السابقة، فإننا نقسم مقدار المطر الهائل، المقدّر بالإنش، على احتياج المحصول اليومي من الماء، المقدّر بالإنش في اليوم، ونؤخر الريّة التالية بعدد الأيام الناتج من القسمة. وفي حالة استهلاك الذرة الأعظمي للماء، يساوي ذلك العدد: $1.25 \div 0.35 = 3.6$ أيام. وبدلاً من السقاية بعد 9.3 أيام، تُجرى السقاية التالية بعد 12.9 يوماً، أو بعد 13 يوماً.

6.19 سعة نظام الريّ

إن سعة نظام الريّ هي مقدار الماء الأعظمي الذي يمكنه تقديمه على نحو مستمر. وتُستعمل وحدات مختلفة للتعبير عن سعة النظام، منها الإيكر-قدم (أي مقدار الماء اللازم لتغطية إيكر واحد بقدم واحد من الماء)، والإيكر-إنش، والغالون في الدقيقة، والقدم المكعب في الثانية. وتعتمد مقدرة منظومة الريّ على الضخ على المساحة التي سوف تُروى، مقدرة بالإيكر، وعلى عمق الماء الذي يجب تقديمه، مقدراً بالإنش، وعلى المدة التي سوف يُشغّل النظام خلالها، مقدرة بالساعة. ويُقصد بمدة التشغيل مدة الضخ، لا المدة الساعية. فمدة الضخ هي المدة التي يكون الماء في خلالها متدفقاً.

وتعتمد المدة التي يمكن لنظام ري أن يعمل في خلالها في اليوم على نوعه وعلى مقدار الصيانة اللازمة له. فالنظام الذاتي الدفع يمكن أن يعمل أيام عدة من دون توقّف، في حين أن النظم التي تُحرّك يدوياً أو تُجرّ بجِرّار، أو الذاتية الحركة، يجب أن توقّف عن الضخ بفواصل زمنية منتظمة. وفي ما يخص النظم غير ذات محور الدوران المركزي والحركة العرضانية، فإنها لا تروي سوى جزء من الحقل في المرة الواحدة، وثمة حاجة إلى وقت لنقلها من جزء من الحقل إلى جزء آخر. ويُستعمل مصطلح دورة الريّ لتحديد عدد الأيام اللازمة للنظام لتقديم الماء لريّة واحدة لمنطقة معينة. لاحظ أن من الضروري لدورة الريّ أن تكون مساوية لفاصل الريّ الزمني أو أصغر منه. أما سعة النظام، مقدرة بالغالون في الدقيقة، فتُحدّد بالمعادلة التالية:

$$RSC = \frac{453 \times A \times DWA}{IRP \times HPD}$$

حيث RSC هو سعة النظام مقدرة بالغالون في الدقيقة، و 453 هو ثابت تحويل الوحدات، و A هي المساحة التي سوف تُروى مقدرة بالإيكر، و DWA هو عمق الماء المقدّم للريّة الواحدة مقدراً بالإنش، و IRP هي دورة الريّ مقدرة باليوم، و HPD هي مدة التشغيل مقدرة بالساعة في اليوم.

مسألة: حدّدت سعة النظام، مقدرة بالغالون في الدقيقة، اللازمة لمحصول الذرة في المسألة السابقة عندما تساوي مساحة الحقل 200 إيكر، وبإستطيع النظام العمل 18.0 ساعة في اليوم، مدة 7.7 أيام.

الحل:

$$RSC = \frac{453 \times A \times DWA}{IRP \times HPD} = \frac{453 \times 200 \text{ ac} \times 4.65 \text{ in}}{7.7 \text{ day} \times \frac{18.0 \text{ hr}}{\text{day}}}$$

$$= \frac{421,290}{138.6} = 3,039.61 \text{ or } 3,000 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

من أجل محصول ذرة طويل الموسم مزرّوع في حقل مساحته تساوي 200 إيكر، وترتبه من الدُّبال الطميّ فوق تربة تحتية مرصّوصة، ويُروى بواسطة نظام ذو كفاءة تساوي 70% ويقتصر عمله على 18 ساعة في اليوم مدة 7.7 أيام، يجب أن يكون نظام الريّ قادراً على تقديم 3,040 غالوناً من الماء في الدقيقة.

ملاحظة: هذا مثال لمعادلة تتضمن ثابت تحويل وحدات. ويمكن حل المسألة نفسها باستعمال طريقة حذف الوحدات:

$$\begin{aligned}
 \text{RSC} &= \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ day}}{18 \text{ hr}} \times \frac{1}{7.7 \text{ day}} \times \frac{1 \text{ gal}}{231 \text{ in}^3} \times \frac{4.65 \text{ in}}{1} \\
 &\times \frac{144 \text{ in}^2}{1 \text{ ft}^2} \times \frac{43,560 \text{ ft}^2}{1 \text{ ac}} \times \frac{200 \text{ ac}}{1} = \frac{5,833,555,200}{1,920,996} \\
 &= 3,036.7 \text{ or } 3,000 \frac{\text{gal}}{\text{min}}
 \end{aligned}$$

وفي بعض الحالات، من الضروري استعمال وحدات سعة غير الغالون في الدقيقة. فمثلاً، يُقدَّر الماء المقدَّم من خزانات كبيرة غالباً بالإيكر-قدم. وحينئذ، يمكن استعمال حذف الوحدات أو ثوابت التحويل الملائمة (الملحق 1 أو 2) لتحويل الوحدات.

مسألة: ماذا يجب أن تكون سعة النظام في المسألة السابقة مقدرة بوحدات الإيكر-قدم في الدقيقة؟

الحل: باستعمال حذف الوحدات وسعة النظام من المسألة السابقة:

$$\begin{aligned}
 &3040 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{4.48 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ ac}}{43560 \text{ ft}^2} \\
 &= 0.009319 \dots \text{ or } 9.3 \text{ E} - 3 \frac{\text{ac} - \text{ft}}{\text{min}}
 \end{aligned}$$

تتبع سعة النظام أربعة متغيرات: المساحة مقدرة بالإيكر، ومعدل جريان الماء مقدراً بالغالون في الدقيقة أو القدم المكعب في الدقيقة أو الإيكر-قدم في

الدقيقة... إلخ، وعمق الماء المقدم مقدراً بالإنش، والمدة مقدرة بالدقيقة أو الساعة أو اليوم. ويُعبّر عن هذه العلاقة بالمعادلة التالية:

$$D \times A = Q \times T$$

حيث D هو عمق الماء، إما المقدم أو الاستهلاك الأعظمي، وكلاهما مقدّر بالإنش، و A هي المساحة المروية مقدرة بالإنش، و Q هو معدل التدفق مقدراً بالقدم المكعب في الثانية، و T هي المدة التي يُقدم الماء في خلالها.

وعندما يكون أيُّ ثلاثة من هذه المتغيّرات الأربعة معلومة، يمكن حساب المتغيّر الرابع بإعادة ترتيب المعادلة والتعويض عن المتغيّرات المعلومة بقيمها. والمناقشة التالية تستعرض بعض استعمالات المعادلة.

حدّدتنا في المسألة السابقة سعة النظام باستعمال حذف الوحدات. فإذا كان ضرورياً معرفة كمية الماء التي قُدّمت، فإن الاستهلاك الأعظمي لا يُعبّر بدقة عما نحسبه. وحينما نريد معرفة عمق الماء الذي جرى تقديمه، يُصبح D عمق الماء المقدم D_{WA} . وهذا صحيح لأن وحدة القياس هي نفسها لكل من الاستهلاك الأعظمي وعمق الماء المقدم مقدراً بالإنش.

مسألة: يصرف منتج 120 ساعة على سقاية 90.0 إيكراً. وتضخ المضخة 1350 غالوناً في الدقيقة. ما مقدار العمق الوسطي للماء المقدم، مقدراً بالإنش؟

الحل: نظراً إلى أننا نريد معرفة مقدار الماء المقدم، لا المقدار المتوافر للنبات، لا نستعمل عامل الكفاءة. ويجب أيضاً تحويل وحدات Q من الغالون في الدقيقة إلى القدم المكعب في الثانية. وإعادة ترتيب المعادلة والاستعاضة

عن العمق D بعمق الماء المقدم D_{WA} ، ويتضمن ثابت التحويل $^3 \text{ft}^3/\text{sec} = 2.25 \times 10^{-3} \text{ gal/min}$ ينتج:

$$D_{WA} \times A \cong Q \times T$$

$$D_{WA} \cong \frac{Q \times T}{A}$$

$$\cong \frac{\left(1,350 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{2.25 \text{ E} - 3 \frac{\text{ft}^3}{\text{sec}}}{1 \frac{\text{gal}}{\text{min}}} \right) \times 120 \text{ hr}}{90 \text{ ac}}$$

$$\cong \frac{364.5}{90} \cong 4.05 \text{ in}$$

نُري معاينة هذه المسألة أن الوحدات لا تتفانى. لكن عندما نُدخل قيم المتغيّرات بالوحدات المُدرجة آنفاً، يمكننا الحصول على جواب قريب جداً من القيمة الصحيحة. تعني الإشارة \cong مساواة تقريبية. أما الحل الدقيق باستعمال حذف الوحدات وتحويلها فهو التالي:

$$D_{WA} \times A = Q \times T$$

$$D_{WA} = \frac{Q \times T}{A}$$

$$= \frac{\left(1,350 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times 231 \frac{\text{in}^3}{\text{gal}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{1728 \text{ in}^3} \right) \times 120 \text{ hr} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}{90 \text{ ac} \times 43,560 \frac{\text{ft}^2}{\text{ac}}}$$

$$= 3.98 \text{ in}$$

$$^3 \text{ If } \frac{\text{ft}^3}{\text{sec}} = \frac{1 \text{ gal}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60.0 \text{ sec}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{7.40 \text{ gal}} = 2.25 \times 10^{-3} \frac{\text{ft}^3}{\text{sec}} \text{ then } \frac{1 \text{ gal}}{\text{min}} = \frac{2.25 \times 10^{-3} \text{ ft}^3}{1 \text{ sec}}$$

وحينئذ يساوي الخطأ في الحل التقريبي:

$$e\% = \frac{4.05 - 3.98}{3.98} \times 100 = 1.76\%$$

وتحصل اختلافات في استعمال المعادلة مع أنواع نظم الريّ المختلفة. وفي الحالات التي يكون فيها العامل المحدّد هو توافر الماء، تكمن المشكلة في تحديد المساحة العظمى التي تُمكن سقايتها بالماء المتوافر.

مسألة: ما أكبر مساحة لأرض مرجية تُمكن سقايتها في خلال 12 ساعة إذا توافر 0.5 إنش من الماء على الأقل لكل رية، وكانت كفاءة المنظومة 9%، وكان معدّل التزويد بالماء 3.5 غالونات في الدقيقة؟

الحل: نعيد ترتيب المعادلة ونضيف عامل الكفاءة ونحوّل المساحة إلى قدم مربع:

$$\begin{aligned} D \times A &= Q \times T \\ A(\text{ac}) &= \frac{Q \times T}{D} \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \times 0.90 \\ &= \frac{3.5 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{7.48 \text{ gal}} \times 12.0 \text{ hr}}{\frac{0.5 \text{ in}}{12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}} \times \frac{1 \text{ ac}}{43,560 \text{ ft}^2} \times 0.90 \\ &= \frac{336.898}{0.04167} \times \frac{1}{43,560} \times 0.90 = 0.167 \text{ ac} \end{aligned}$$

إذا استُعمل الريّ بالغمر لسقاية الحقل، وبافتراض أن معدل تدفق الماء محدود، فإن من الضروري تحديد المدة التي يجب أن يتدفق الماء في خلالها لتغطية الحقل بالعمق المطلوب.

مسألة: ما المدة التي تستغرقها تغطية 120 إيكراً بـ 4 إنش من الماء على نحو متجانس عندما يكون معدل تدفق الماء المتاح 20 قدماً مكعباً في الثانية؟ افترض أن كفاءة المنظومة تساوي 100%.

الحل الدقيق:

$$D \times A = Q \times T$$

$$\begin{aligned} T(hr) &= \frac{D \times A}{Q} \\ &= \frac{4.0 \text{ in} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \times 120 \text{ ac} \times 43,560 \frac{\text{ft}^2}{\text{ac}}}{20.0 \frac{\text{ft}^3}{\text{sec}} \times 60 \frac{\text{sec}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}}} \\ &= \frac{1,742,400}{72,000} = 24.2 \text{ hr} \end{aligned}$$

وفي أثناء الريّ الأخدودي، من الضروري معرفة المدة التي يجب أن يجري الماء خلالها لتقديم المقدار المطلوب من الماء لكل مجموعة من الأخاديد. إن ثمة ثلاث قيم ضرورية لحساب المدة هي معدل تدفق الماء في كل أخدود أو في كامل مجموعة الأخاديد، ومساحة الأخدود أو المجموعة، ومقدار الماء الذي يجب تقديمه. وتتحدد المساحة من عدد الصفوف في المجموعة والمسافة الفاصلة بين الصفوف وطول الصف.

مسألة: ما المدة اللازمة لتغطية ستين صفاً بـ 3 إنشات من الماء، إذا كانت التباعدات في ما بينها تساوي 32 إنشاً، وكان طول كل منها يساوي نصف ميل، وكان استيعاب المنظومة 30 غالوناً في الدقيقة لكل صف؟

الحل:

$$D \times A = Q \times T$$

$$T = \frac{D \times A}{Q}$$

$$A = \frac{60 \text{ rows} \times 32 \frac{\text{in}}{\text{row}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \times 0.5 \text{ mi} \times 5,280 \frac{\text{ft}}{\text{mi}}}{43,560 \frac{\text{ft}^2}{\text{ac}}} = 9.696 \dots \text{ac}$$

$$Q \left(\frac{\text{ft}^3}{\text{sec}} \right) = \frac{30.0 \frac{\text{gal}}{\text{min}}}{\text{row}} \times 60 \text{ row} \times \frac{2.25 \text{E} - 3 \frac{\text{ft}^3}{\text{sec}}}{1 \frac{\text{gal}}{\text{min}}} = 4.05 \frac{\text{ft}^3}{\text{sec}}$$

$$T = \frac{3.0 \times 9.69 \dots}{4.05} = 7.182 \dots \text{ or } 7.2 \text{ hr}$$

تستغرق تغطية الحقل بـ 3.0 إنشات من الماء مدة 7.2 ساعات.

7.19 الحاجة الموسمية إلى الماء

الحاجة الموسمية إلى الماء هي كمية الماء (بالإنش) التي يجب تقديمها إلى المحصول خلال موسم زراعي واحد لتحقيق إنتاج أعظمي. وتختلف الحاجة

الموسمية إلى الماء من موسم إلى آخر، ولكل محصول وكل منطقة. ويتضمن الجدول 4.19 بعض القيم الشائعة لثلاث مناطق من الولايات المتحدة.

الجدول 4.19 الحاجة الموسمية للماء لبعض المحاصيل (إنش).

المنطقة الغربية	المنطقة الوسطى	المنطقة الشرقية
36.0	36.0	23.0
23.0	25.0	21.0
31.0	20.0	19.0
20.0	22.0	21.0
33.0	-	-
31.0	-	36.0
36.0	29.0	-
19.0	-	14.0
فصّة		
ذرة		
قطن		
ذرة سكرية		
برتقال		
قش		
شمندر سكري		
بندورة		

تفيد معرفة حاجة المحصول الموسمية إلى الماء في منطقة معينة في تحديد إسهام الريّ في تكلفة الإنتاج والمقدار الكلي للماء اللازم له. فعندما تكون تكلفة الماء معروفة (وتقدّر عادة بالدولار للإيكر - قدم)، إضافة إلى حاجة المحصول الموسمي، ومعدل هطول المطر العادي خلال الموسم، ومساحة الحقل، فإن من الممكن تقدير كمية الماء الكلية التي سوف تكون ثمة حاجة إليها مع تكلفتها. ولتحديد الاستهلاك السنوي الكلي، يجب أيضاً أخذ كفاءة نظام الريّ في الحسبان. تساوي الكفاءة عادة نحو 60-80%.

مسألة: ما مقدار الماء، مقدراً بالإيكر - قدم في السنة، اللازم لسقاية 120 إيكراً من القطن في المنطقة الوسطى من الولايات المتحدة حيث يساوي الهطول الطبيعي في أثناء الموسم 5.0 إنشات، وتساوي كفاءة نظام الريّ 70%؟

الحل: باستعمال حذف الوحدات:

$$\begin{aligned}\frac{\text{ac} - \text{ft}}{\text{yr}} &= \frac{120 \text{ ac}}{1} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \times \frac{20.0 \text{ in} - 5.0 \text{ in}}{1 \text{ yr}} \times \frac{1}{0.70} \\ &= \frac{1,800}{8.4} = 214.285 \dots \text{ or } 210 \frac{\text{ac} - \text{ft}}{\text{yr}}\end{aligned}$$

مسألة: ما مقدار تكلفة الماء السنوية الكلية إذا كان سعر الماء اللازم لسقاية 1 إيكـر - قدم 25 دولاراً؟

الحل: باستعمال حذف الوحدات:

$$\begin{aligned}\text{cost} \left(\frac{\$}{\text{yr}} \right) &= 25.00 \frac{\$}{\text{ac} - \text{ft}} \times 210 \frac{\text{ac} - \text{ft}}{\text{yr}} \\ &= 5,250 \text{ or } 5,200 \frac{\$}{\text{yr}}\end{aligned}$$

8.19 مسائل بالوحدات المترية

تعتمد كمية الماء الصافية التي يجب تقديمها وتخزينها في منطقة الجذور على توافر البيانات المناسبة في الجداول بالوحدات المترية. وتلك البيانات غير مُدرجة في هذا الكتاب، إلا أن مسائل أخرى مثل سعة النظام يمكن أن تُحسب بالوحدات المترية.

مسألة: حدّد سعة المضخة اللازمة لتغطية 50.0 هكتاراً بـ 30.5 ميلليمتراً من الماء عندما يساوي الفاصل الزمني بين ريّين متتاليين 10 أيام، وتعمل المضخة 20.0 ساعة في اليوم.

الحل: باستعمال طريقة الوحدات:

$$\begin{aligned}
 \text{capacity} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) &= 30.5 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1,000 \text{ mm}} \times \frac{10,000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} \times 50 \text{ ha} \\
 &\times \frac{1 \text{ day}}{20.0 \text{ hr}} \times \frac{1}{10 \text{ day}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \\
 &= 1.27 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}
 \end{aligned}$$

وباستعمال المعادلة:

$$\begin{aligned}
 \text{RSC} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right) &= \frac{A \times DWA}{\text{IRP} \times \text{HPD} \times 0.1} = \frac{50.0 \times 30.5}{10 \times 20 \times 0.1} = \frac{1,525}{20} \\
 &= 76.25 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \text{ or } 1.27 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}
 \end{aligned}$$

مسألة: يصرف منتج 120 ساعة على سقاية 35.0 هكتاراً. وتضخ المضخة 5.2 أمتار مكعبة في الدقيقة. ما مقدار عمق الماء الذي يغطي الأرض بعد السقاية؟

الحل:

$$\begin{aligned}
 \text{Depth}(\text{mm}) &= \frac{1,000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \times \frac{5.2 \text{ m}^3}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10,000 \text{ m}^2} \times \frac{1}{35.0 \text{ ha}} \\
 &\times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times 120 \text{ hr} \\
 &= \frac{3.744 \text{ E7}}{3.5 \text{ E5}} = 106.97 \dots \text{ or } 110 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

مسألة: ما مقدار أكبر مساحة مرج، مقدرة بالمتر المربع، يمكن أن تُروى في 6.0 ساعات إذا كان عمق الماء الأدنى الذي يجب تقديمه في كل رية تساوي 1.3 سنتيمتر، وكانت كفاءة المنظومة تساوي 90%، وكان مصدر الماء يقدم 13.0 ليترًا في الدقيقة؟

الحل:

$$\begin{aligned} \text{Area(m}^2\text{)} &= \frac{13.0 \text{ L}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1,000 \text{ L}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1}{1.3 \text{ cm}} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \\ &= \frac{7.8 \text{ E4}}{1.3 \text{ E3}} = 60 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

20.

تداول المنتجات الحيوية و تخزينها وحمايتها من الرطوبة

1.20 الأهداف

1. التمكن من وصف الطرائق الشائعة للتعامل مع المنتجات الحيوية.
2. التمكن من تحديد متطلبات مقاس واستطاعة الناقل الحلزوني.
3. التمكن من تحديد متطلبات مقاس واستطاعة الناقل الهوائي.
4. التمكن من تحديد مقدار الماء الذي يجب استخلاصه من المنتجات الحيوية أو إضافته إليها.
5. فهم متطلبات خزن المنتجات الحيوية.

2.20 تقديم

تتضمن المنتجات الحيوية كل الأغذية والأطعمة والألياف التي تُنتج زراعياً. ومن هذه المنتجات كل شيء من الفواكه والخضراوات حتى الحبوب والتبن والقطن. ومع أن تتنوع المنتجات الزراعية أوسع من أن يُغطى كلياً في هذا الكتاب، فإننا سوف نناقش في المقاطع التالية بعض المبادئ التي تحكم تداول تلك المنتجات وتجفيفها وتخزينها.

3.20 التداول

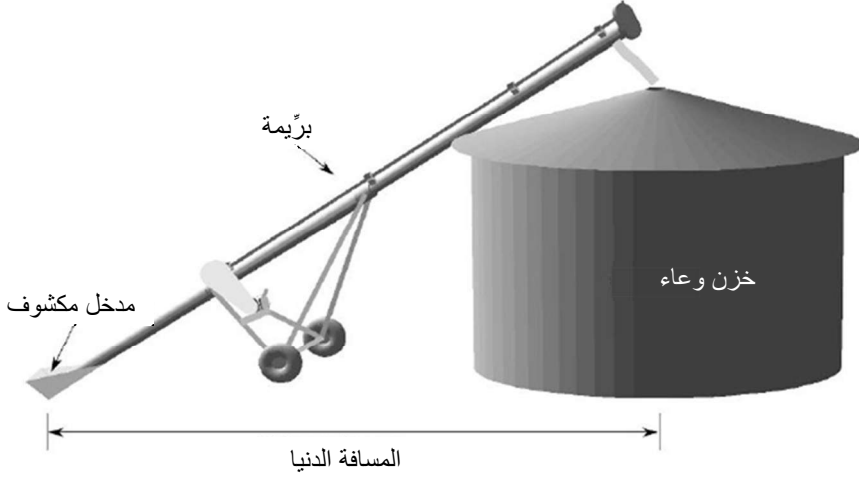
نظراً إلى اختلافات أشكال ومقاسات وانتظام تداول المنتجات الزراعية، يجب أن يكون لكل منتج نظام قادر على تداوله ونقله. وعلى مصمم نظام التداول أن يأخذ في الحسبان إمكان تلف المنتج بسبب التداول، وشكله النهائي المرغوب فيه. فآلة القطاف المصممة لقطاف البندورة لتسويقها في سوق الخضار الطازجة تختلف عن آلة قطاف البندورة بغرض صنع رُبّ البندورة. لكن نظراً إلى انتشار الحبوب في الولايات المتحدة، فإننا سوف نستعملها في استعراض المبادئ الأساسية لتداول المنتجات الحيوية.

لقد كانت الحبوب واحدة من أوائل المنتجات التي تُنقل ميكانيكياً لأنها صغيرة وتتصف بغلاف خارجي صلب نسبياً ويمكن أن تتدفق بقوة الثقالة. وهذه الخصائص تسمح بنقلها بوسائل ميكانيكية مختلفة. وسوف نناقش في المقاطع التالية ناقل البرّيمة (الحرزون) والناقل الهوائي.

4.20 النواقل الحرزونية

تتوافر النواقل الحرزونية بطرازين، هما حرزون أرخميدس والسَّيْر [الحزام]. وحرزون أرخميدس أكثر شيوعاً في الزراعة، وسوف نستعمله في المناقشة التالية وفي أمثلة المسائل. والناقل الحرزوني، أو البرّيمة (أي حرزون أرخميدس)، يُشابه البرغي، لكن بدلاً من الأسنان، فإنه يحتوي على أجنحة متصلة حرزونية تدور ضمن أنبوب والناقل اللولبي هو الاسم الآخر للناقل الحرزوني. وعندما تدور البرّيمة، يدفع الجناح المنتج عبر الأنبوب على غرار تحريك أسنان البرغي للعزقة. والبرّيمات متوافرة بأقطار متعددة، وهي قادرة على نقل أنواع مختلفة من المنتجات. ومزية البرّيمة هي استهلاكها استطاعة أقل لرفع البُشيل

إلى أعلى، واحتواؤها على عدد أقل من الأجزاء الميكانيكية مقارنة بالنظم الهوائية. ومن عيوبها خطر الجناح الدوار المكشوف عند مدخلها واحتياجها إلى حيز كبير لأن مدخلها يبعد مسافة عن مخرجها. انظر الشكل 1.20.



الشكل 1.20 ناقل برّيمة.

وتُختار البرّيمات على أساس السعة المرغوب فيها، مقدّرة بالبُشِل في الساعة، والطول. ويتحدّد الطول عادة بالمسافة اللازمة لنقل الحبوب أفقياً، أو بالارتفاع الذي يحصل النقل إليه وزاوية توضع البرّيمة إذا كان النقل إلى أعلى. ويقوم معيار الاختيار في المقام الأول على قطر البرّيمة وزاويتها وسرعة دورانها لأن سعتها تزداد بازدياد سرعتها. والمناقشة التالية سوف توضح كيفية تحديد سعة البرّيمة ومتطلباتها من الطاقة.

يتضمن الجدولان 1.20 و 2.20 قيماً شائعة لمقاسين من النواقل اللولبية ومحصولين مختلفين. ويمكن استعمال هذا النوع من المعلومات لاتخاذ قرارات

بخصوص انتقاء نظام تداول الحبوب، ومن أمثلتها تحديد مقاس البريئة اللازمة لنقل الحبوب بمعدل معين مقدّر بالبُشِل في الساعة.

الجدول 1.20 سعة بريئة حلزونية تنقل ذرة جافة (فتحة مدخل مكشوفة مقاسها 12 إنشاً).

زاوية ارتفاع البريئة							البريئة
90°		45°		0°			
hp/10 ft	bu/hr	hp/10 ft	bu/hr	hp/10 ft	bu/hr	rpm	المقاس
0.11	60	0.15	120	0.12	150	200	4 إنش
0.24	130	0.29	220	0.29	290	400	
0.36	190	0.45	310	0.38	420	600	
0.32	280	0.44	500	0.38	590	200	6 إنش
0.70	520	0.88	850	0.56	1090	400	
1.05	740	1.28	1160	0.84	1510	600	

مسألة: ما المقاس الأصغري لبريئة تستطيع نقل ذرة جافة بمعدل 500 بُشِل في الساعة وزاوية ارتفاعها يساوي 45 درجة؟

الحل: باستعمال الجدول 1.20 يتبيّن أن مقاس البريئة الأصغري يساوي 6 إنشات.

زاوية ارتفاع البريمة							البريمة
90°		45°		0°			
hp/10 ft	bu/hr	hp/10 ft	bu/hr	hp/10 ft	bu/hr	rpm	المقاس
0.11	60	0.15	120	0.12	150	200	4 إنش
0.24	130	0.29	220	0.29	290	400	
0.36	190	0.45	310	0.38	420	600	
0.32	280	0.44	500	0.38	590	200	6 إنش
0.70	520	0.88	850	0.56	1090	400	
1.05	740	1.28	1160	0.84	1510	600	

الجدول 2.20 سعة بريمة حلزونية تنقل فول صويا جافاً (فتحة مدخل مكشوفة مقاسها 12 إنشاً).

زاوية ارتفاع البريمة							البريمة
90°		45°		0°			
hp/10 ft	bu/hr	hp/10 ft	bu/hr	hp/10 ft	bu/hr	rpm	المقاس
0.12	70	0.17	125	1.00	140	200	4 إنش
0.26	130	0.35	215	0.21	270	400	
0.40	180	0.51	315	0.34	390	600	

0.40	220	0.57	360	0.40	500	200	6 إنش
0.79	390	1.20	690	0.84	990	400	
1.10	500	1.71	930	1.20	1350	600	

rpm: السرعة مقدرة بالدورة في الدقيقة. Bu/hr: السعة مقدرة بالبُئيل في الساعة. Hp/10
ft: الاستطاعة مقدرة بالحصان البخاري لكل عشرة أقدام. ملاحظة: يجب إضافة 10% إلى
الاستطاعة للتعويض عن مفاقيد مجموعة نقل الحركة. المصدر:

Structures and Environment Handbook, MWPS-1, Midwest
Plan Service, Iowa State University, Ames, Iowa, 1987,
Section 534.

ومن استعمالات الجدولين 1.20 و 2.20 الأخرى تحديد الاستطاعة اللازمة
لتشغيل البريمة أيضاً.

مسألة: ما مقدار الاستطاعة اللازمة لتشغيل بريمة مقاسها 6 إنشات على
مسافة 100 قدم وبزاوية تساوي 45 درجة لنقل 690 بُشلاً من فول الصويا في
الساعة؟ ضمنّ الجواب الاستطاعة اللازمة للتعويض عن ضياعات مجموعة
نقل الحركة.

زاوية ارتفاع البريمة							
90°		45°		0°			البريمة
hp/10 ft	bu/hr	hp/10 ft	bu/hr	hp/10 ft	bu/hr	rpm	المقاس
0.12	70	0.17	125	1.00	140	200	4 إنش
0.26	130	0.35	215	0.21	270	400	

0.40	180	0.51	315	0.34	390	600	
0.40	220	0.57	360	0.40	500	200	6 إنش
0.79	390	1.20	690	0.84	990	400	
1.10	500	1.71	930	1.20	1350	600	

الحل: باستعمال الجدول 2.20، يتبيّن أن الاستطاعة اللازمة تساوي 1.20 حصان بخاري لكل 10 أقدام. وبناء على الملاحظة الواردة تحت الجدول، تجب إضافة 10% إلى الاستطاعة للتعويض عن ضياعات مجموعة نقل الحركة. لذا:

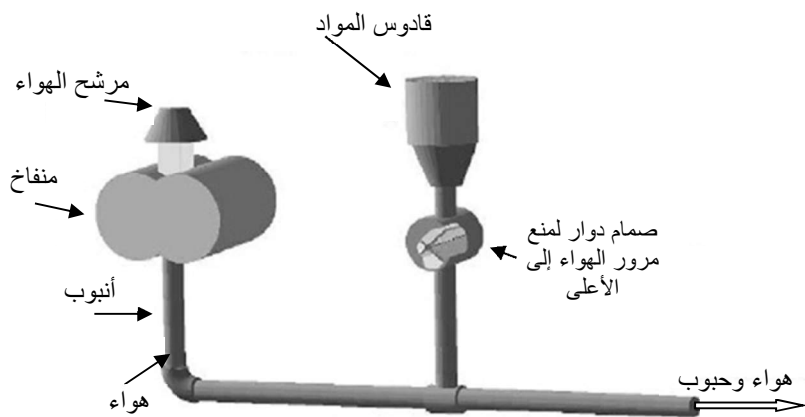
$$\text{hp} = \frac{1.20 \text{ hp}}{10 \text{ ft}} \times 100 \text{ ft} \times 1.10 = 13.2 \text{ or } 13 \text{ hp}$$

تساوي الاستطاعة اللازمة لتشغيل البرّيمة والتعويض عن ضياعات مجموعة نقل الحركة 13 حصاناً بخارياً.

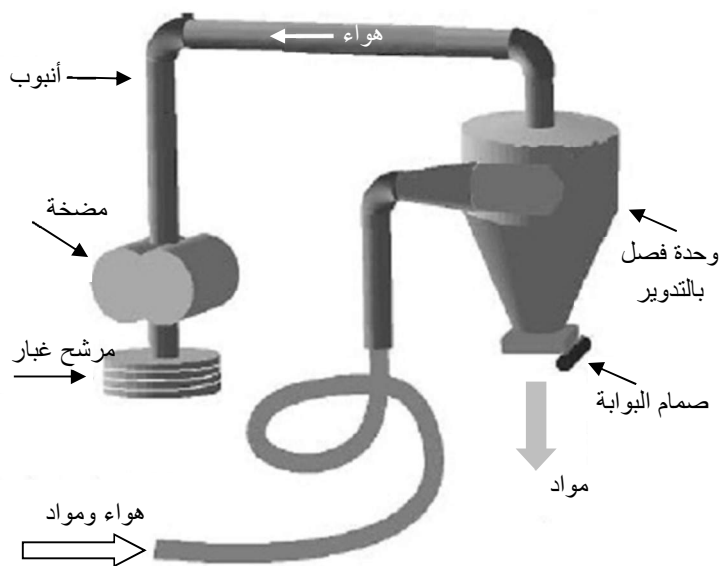
5.20 الناقل الهوائي

تُستعمل الناقل الهوائية لنقل الحبوب وغيرها من المنتجات باستعمال الهواء. وهي أكثر مرونة من البرّيمات لأنه ليس من الضروري أن تكون المجاري مستقيمة. وهي ذاتية التنظيف، ولا توجد فيها فوهة مدخل مفتوحة. إلا أنها تحتاج إلى استطاعة للبُشَل أكبر من تلك التي تحتاج إليها البرّيمات، إضافة إلى كونها أكثر ضجيجاً. وثمة ثلاثة أنواع من الناقل الهوائية: نواقل ضغط موجب (وحدات دفع)، ونواقل ضغط سالب (تفريغ أو شفط)، ونواقل مركّبة من النوعين السابقين. وفي وحدة الضغط الموجب، يُوفّر منفخّ الضغط، ويدخل

المحصول ضمن تيار الهواء عبر صمام دوار يمنع مرور الهواء إلى القادوس.
ثم يدفع الهواء الحبوب عبر المجرى. انظر الشكل 2.20.



الشكل 2.20 نظام هوائي ذو ضغط موجب.



الشكل 3.20 نظام هوائي ذو ضغط سالب.

وفي وحدة الضغط السالب، تُشفط المادة بواسطة الهواء الداخل ثم تُفصل عنه بواسطة وحدة فصل بالتدوير [فعل الدوامة]. وتتجمع المادة في أسفل وحدة الفصل حيث يمكن إخراجها بواسطة صمام بوابة أو مانع رجوع دوّار. ويستمر الهواء بالدخول إلى مضخة التفريغ ليخرج من مرشح إلى الجو الخارجي. انظر الشكل 3.20.

وفي المنظومة المركّبة، تُلتقط المادة بواسطة الهواء الداخل في نظام الضغط السالب، ثم تمر عبر صمام منع رجوع دوّار للهواء إلى تيار هواء الضغط الموجب القادم من المضخة.

6.20 تحديد حجم واستطاعة نظام النقل بالهواء

تعتمد مقدار سعة الناقل الهوائي واستطاعته على ثمانية عوامل:

1. مسافة نقل المادة أفقياً.
2. قطر الأنبوب.
3. مسافة نقل المادة عمودياً.
4. عدد الزوايا في الأنبوب.
5. الارتفاع فوق سطح البحر.
6. درجة حرارة الهواء الخارجي.
7. نوع المادة المنقولة.
8. نسبة الرطوبة في المادة.

يجب أخذ جميع هذه العوامل في الحسبان حين تحديد سعة نظام النقل الهوائي واستطاعتها.

يتضمن الجدول 3.20 مثلاً لنوع المعلومات المتوفرة لتحديد سعة النظام الهوائي واستطاعتها. وتوضّح البيانات أنه حين ازدياد الطول الأفقي للأنبوب تقل سعة النظام المقدّرة بالبُشِل في الساعة، وعندما يزداد قطره تزداد سعته.

لتوفير طريقة سهلة لتقدير مقدار انخفاض السعة الناجمة عن العاملين 3 و 4، يُحدّد الطول المكافئ للأنبوب. والطول المكافئ هو مقدار يتضمن ثوابت لتحديد طول الأنبوب الأفقي الذي سوف يؤدي إلى تقليص السعة نفسها التي يؤدي إليه العامل موضوع الاهتمام. على سبيل المثال، التعديل الأول للسعة المُدرج في الجدول 3.20 يبيّن أن كل قدم من الأنبوب العمودي يسبب التخفيض نفسه في السعة التي يسبّبه 1.2 قدم من الأنبوب الأفقي. أي إن الطول الأفقي المكافئ لمقطع عمودي من الأنبوب يتحدّد بضرب الطول العمودي بـ 1.2.

الجدول 3.20 سعة ناقل هوائي من الذرة الجافة (بُشِل في الساعة).

الطول المكافئ (قدم)						الاستطاعة	قطر الأنبوب
350	300	250	200	100	50	(حصان بخاري)	(إنش)
265	295	320	350	400	450	10	3
380	420	460	500	575	650	15	4
685	755	830	900	1000	1100	25	5
1370	1510	1650	1800	1950	2100	40	6
2660	2940	3220	3500	3900	4300	75	8
3720	3980	4240	4500	5100	5800	100	10

تعديلات السعة:

1. الأنبوب العمودي $\times 1.20$ = الطول الأفقي المكافئ.
2. سعة القمح = 90% من سعة الذرة.
3. سعة فول الصويا = 80% من سعة الذرة.
4. أضف 20 قدماً إلى الأنبوب الأفقي المكافئ من أجل كل زاوية قائمة في الأنبوب.
5. قلّصت السعة بـ 4.0% لكل 1000 قدم فوق سطح البحر.
6. قلّصت السعة بـ 2.0% لكل 10 درجات فهرنهايت فوق 70 درجة فهرنهايت.

المصدر: Beard Industries, Frankfort, Indiana 46041.

وتُعامل التعديلات الخاصة بالعوامل 5-8 بطريقة مختلفة. تُعدّل سعة النظام في حالة العوامل 5-7 بتقليص السعة والنسبة المئوية المناسبة. ويُحتسب العامل 8 إما بافتراض نسبة الرطوبة الشائعة، أو بوضع جدول مختلف لمجال من نسب الرطوبة. ويُعبّر عن كل ذلك بالمعادلة التالية:

$$TEF = F_H + F_B + F_V$$

حيث TEF هو الطول المكافئ الكلي، و F_H هي المسافة الأفقية مقدّرة بالقدم، و F_B هو الطول المكافئ الخاص بالزوايا، و F_V هو الطول المكافئ الخاص بالمقطع العمودي.

مسألة: ما مقدار سعة النظام المبين في الشكل 4.20 إذا كانت المادة التي سوف تُنقل هي فول الصويا؟

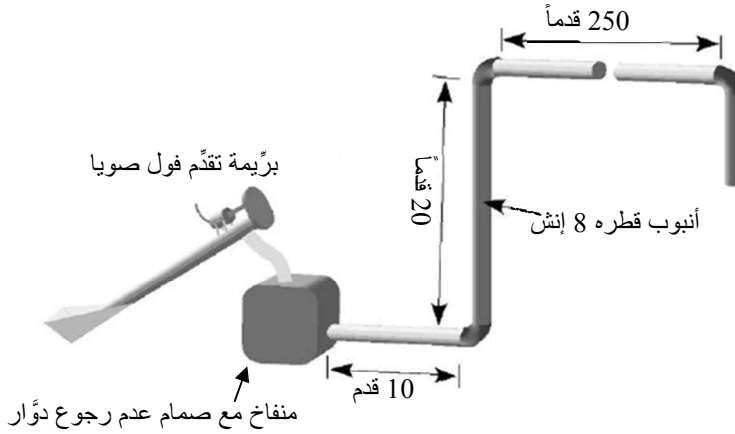
الحل: نحدّد أولاً الطول المكافئ الكلي للأنبوب. وفي هذا المثال، تُستعمل العوامل 1 و 2 و 3 و 4 و 7. ملاحظة: المقطع العمودي النازل من الأنبوب

ليس مضمناً في الحل بسبب افتراض أن قوة الثقالة تتجاوز مقاومة الأنبوب في ذلك المقطع. لذا:

$$TEF = F_H + F_B + F_V$$

$$= (250 \text{ ft} + 10 \text{ ft}) + \left(3 \text{ bends} \times \frac{20 \text{ ft}}{\text{bend}}\right) + (20 \text{ ft} \times 1.2) = 344 \text{ ft}$$

صحيح أن الطول الفعلي للأنبوب في الشكل 4.20 يساوي 280 قدماً، إلا أنه نظراً إلى وجود الزوايا والمقاطع العمودية، فإن الطول المكافئ يساوي 344 قدماً.



الشكل 4.20 ناقل هوائي للمسألة السابقة.

والخطوة التالية هي استعمال الجدول 3.20 لتحديد سعة مجرى قطره يساوي 8 إنشات وطوله المكافئ يساوي 344 قدماً. وأقرب قيمة في الجدول هي 2660 بُشلاً في الساعة. لاحظ أن الجدول 3.20 يُعطي قيمة تخص الذرة. لكن

نظراً إلى أن سعة نظام الهواء المضغوط لفول الصويا يساوي 80% من سعتها للذرة (التعديل 3)، فإن سعة نظام الشكل 4.20 لفول الصويا تساوي:

$$C \left(\frac{\text{bu}}{\text{hr}} \right) = 2660 \frac{\text{bu}}{\text{hr}} \times 0.80 = 2,100 \frac{\text{bu}}{\text{hr}}$$

إن المعلومات اللازمة لتحديد سعة نظم نواقل البريّمات والهواء المضغوط والأوعية لمحاصيل وحالات أخرى متوفرة لدى المصنّع ومن أفراد التوعية الزراعية.

7.20 التحكم في الرطوبة

تُعتبر إضافة الماء إلى المنتجات والمواد الزراعية وإزالته منها موضوعاً على درجة عالية من الأهمية في جميع نواحي الزراعة تقريباً. ونسبة الرطوبة في الحبوب والعلف والتبن التي سوف تُباع أو تُشتري، أو الحبوب التي سوف تُجفّف، أو المنتجات الحيوانية من اللحوم والألبان والأجبان التي سوف تُعالج، ليست سوى بضعة أمثلة على المنتجات التي يجب ضبط نسبة الرطوبة فيها بعناية. فيمكن للرطوبة أن تُضاف إلى المنتجات أو تُزال منها تبعاً للحالة النهائية المطلوبة. وتُزال الرطوبة من المنتجات بالتجفيف، ويُجرى التجفيف عادة لتحقيق توافق المنتج ذاتياً أو لإطالة مدة التخزين. فمثلاً، يمكن تجفيف الفواكه واللحم لتغيير طريقة تداولها وخبزها وأكلها. أما الحبوب والأعلاف فتُجفّف بغية إطالة مدة خبزها.

ويجف بعض المنتجات الزراعية، ومنها الحبوب والأعلاف، على نحو طبيعي حتى يصل إلى حالة توازن الرطوبة (أي حتى تصبح رطوبتها مماثلة لرطوبة المحيط) إذا تُركت في الحقل. إلا أن التحكم الجيد في رطوبة هذه

المنتجات وغيرها يقتضي أحياناً قطاف المحصول في مرحلة تكون نسبة الرطوبة فيه عالية، ثم تجفيفها صناعياً. ويتحقق التجفيف الصناعي بتمرير الهواء الطبيعي أو المسخن حول وعبر المنتج. وغالباً ما يُستعمل الهواء المسخن صناعياً لأن التسخين يقلل الرطوبة النسبية فيه ويزيد من مقدار الرطوبة التي يمكن لوحدة الحجم منه أن تمتصها.

وتتطلب إدارة نظم التجفيف المقدرة على التنبؤ بمقدار الرطوبة التي تجب إزالتها من المنتج. وفيما يخص منتجات أخرى، من الضروري أن تكون قادراً على التنبؤ بمقدار الماء الذي تجب إضافته. ونقدّم في المناقشة التالية طريقة لتحديد مقدار الرطوبة الذي تجب إضافتها أو إزالتها من المنتجات الحيوية.

يُعبّر عن محتوى مادة معينة من الرطوبة بنسبة مئوية، وذلك باستعمال الوزن المبلول أو الوزن الجاف أساساً. أما الفرق بين حالة أساس الوزن المبلول وحالة أساس الوزن الجاف فهو القيمة الموجودة في مقام النسبة. ففي حالة أساس الوزن المبلول، يُستعمل وزن المحصول حين قدومه من الحقل. وفي حالة أساس الوزن الجاف، يُستعمل وزن المحصول المجفّف بالفرن (مادة جافة).

انظر في الشكل 5.20. يساوي الوزن الكلي للمنتج 4 لبيرة. وحين التعبير عن نسبة الرطوبة على أساس الوزن الجاف، فإنها تساوي:

$$\frac{1 \text{ lb water}}{3 \text{ lb dry matter}} \times 100 = 33\%$$

وحين استعمال الوزن المبلول أساساً، تساوي:

$$\frac{1 \text{ lb water}}{4 \text{ lb total}} \times 100 = 25\%$$

ويمكن تفسير هاتين العلاقتين في المعادلة التالية:

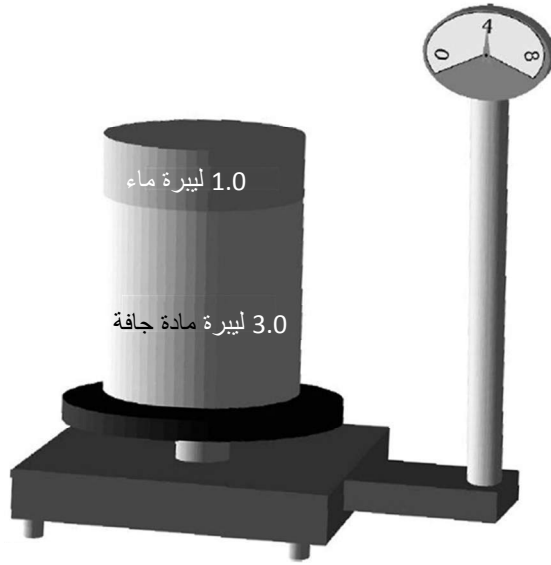
أساس الوزن الجاف:

$$\%MDB = \frac{WW - DW}{DW} \times 100$$

أساس الوزن المبلول:

$$\%MWB = \frac{WW - DW}{WW} \times 100$$

حيث %MDB هي نسبة الرطوبة المئوية في حالة أساس الوزن الجاف، و %MWB هي نسبة الرطوبة المئوية في حالة أساس الوزن المبلول، و WW هو وزن المحصول المبلول أو وزنه قبل التجفيف، و DW هو وزن المحصول بعد تجفيفه، و $WW - DW$ هو وزن الرطوبة المزالة.



الشكل 5.20 توضيح لأساس الوزن المبلول والوزن الجاف.

إن من غير العملي، ومن غير المرغوب فيه غالباً، إزالة كل الرطوبة من الحبوب ومن غيرها من المنتجات أيضاً. وتُعتبر الحبوب جافة عادة حينما يكون محتواها من الرطوبة منخفضاً بقدر كاف لدرء نمو العفن والعوامل الإنزيمية والحشرات. وتساوي نسبة الرطوبة تلك نحو 12% على أساس الوزن الجاف، وذلك تبعاً لنوع الحبوب. وقد وُضِعت معايير لتحديد مدة التسخين ودرجة الحرارة اللازمتين للحصول على حبوب مجففة بالفرن تحقق المعايير المُعتمَدة رسمياً.

يمكن استعمال أيٍّ من الأساسين لتحديد نسبة رطوبة المنتجات الزراعية. لذا، ولتجنب اللبس أو سوء الفهم، يجب دائماً تحديد الأساس المستعمل. ويمكن

تحقيق ذلك بكتابة القيمة العددية لنسبة الرطوبة وإتباعها ب MDB % أو %
MWB.

مسألة: حدّد نسبة الرطوبة، على أساس الوزن المبلول والوزن الجاف، في منتج وزنه 150.0 ليبرة عندما يكون مبلولاً ويُصبح وزنه 80.0 ليبرة بعد تجفيفه.

الحل: على أساس الوزن المبلول:

$$\begin{aligned}\%MWB &= \frac{WW-DW}{WW} \times 100 = \frac{150 \text{ lb} - 80.0 \text{ lb}}{150 \text{ lb}} \times 100 \\ &= 46.666 \dots \text{ or } 46.7\%\end{aligned}$$

تساوي نسبة الرطوبة في المنتج على أساس الوزن المبلول 46.7%.

وعلى أساس الوزن الجاف:

$$\begin{aligned}\%MDB &= \frac{WW - DW}{DW} \times 100 = \frac{150 \text{ lb} - 80.0 \text{ lb}}{80 \text{ lb}} \times 100 \\ &= 87.5\%\end{aligned}$$

تساوي نسبة الرطوبة في المنتج على أساس الوزن الجاف 87.5%.

لاحظ أن الفرق الوحيد بين القيم المستعملة في المعادلتين هو القيمة المستعملة في مقام النسبة، حيث يُستعمل الوزن الجاف DW في حالة أساس الوزن الجاف، والوزن المبلول WW في حالة أساس الوزن المبلول.

في حالة أساس الوزن الجاف، يمكن لنسبة الرطوبة المئوية أن تكون أكبر من 100%. على سبيل المثال، إذا كان وزن المنتج المبلول يساوي 100

أونصة، وكان وزنه الجاف 40 أونصة، كانت نسبة الرطوبة 60% MWB، و 160% MDB. وهذا هو سبب أن النسبة المعتمدة لرطوبة كثير من المنتجات تقوم على أساس الوزن المبلول.

8.20 إضافة الماء وإزالته

قد يكون من الضروري لكثير من المنتجات الزراعية إزالة الماء منها أو إضافته إليها. فالحبوب يجب أن تُجفّف لخزنها، وقد يكون من الضروري ترطيب الحبوب نفسها بغية معالجتها. وقد يكون من الضروري أيضاً إضافة الماء إلى منتج أو إزالته منه بغية الحصول على لزوجة معينة كتلك التي يتصف بها رُبُّ البندورة مثلاً. ويمكن استعمال معادلتني أساس الوزن المبلول أو أساس الوزن الجاف لتحديد مقدار الماء الذي تجب إضافته إلى أي منتج حيوي أو إزالته منه.

تُجرى حسابات كمية الماء التي تجب إضافتها أو إزالتها بثلاث خطوات يجب تنفيذها بتسلسل معين:

1. حدّد وزن المادة الجافة في حالتها الأصلية. لا يتغيّر وزن المادة الجافة مع اختلاف نسبة الرطوبة. فالرطوبة يمكن أن تُضاف أو تُزال، لكن مقدار المادة الجافة، أو الوزن الجاف، يبقيان نفسيهما.
2. باستعمال الوزن الجاف الذي جرى تحديده في الخطوة 1، احسب الوزن المبلول الجديد (وزن المادة عند نسبة الرطوبة الجديدة).
3. يساوي مقدار الرطوبة التي سوف تُضاف أو تُزال الفرق بين وزن المنتج في حالته الأصلية ووزنه المبلول الجديد.

لحساب الوزن الجاف أو الوزن المبلول، يُعاد ترتيب معادلتَي الأساسين الجاف والمبلول. وتُستعمل المعادلتان الأوليان عندما تكون نسبة الرطوبة محسوبة على أساس الوزن الجاف، وتُستعمل المعادلتان الأخريان عندما تكون نسبة الرطوبة محسوبة على أساس الوزن المبلول:

أساس الوزن الجاف:

$$DW = \frac{WW}{1 + \frac{\%MDB_I}{100}}$$

$$WW_n = DW \times \left(1 + \frac{\%MDB_E}{100}\right)$$

أساس الوزن المبلول:

$$DW = WW \times \left(1 - \frac{\%MWB_I}{100}\right)$$

$$WW_n = \frac{DW}{\left(1 - \frac{\%MWB_E}{100}\right)}$$

حيث يُشير الرمز n إلى الوزن الجديد، والرمز e إلى النسبة النهائية، والرمز I إلى النسبة الأولية. وتوضّح المسائل التالية استعمال هذه المعادلات.

مسألة: ما وزن الماء، مقدراً بالليبرة، الذي تجب إزالته لتجفيف 10,000 ليبرة من المنتج من نسبة الرطوبة المئوية 70% على أساس وزن مبلول إلى 20% على أساس وزن مبلول؟

الحل: يُجرى الحل بثلاث خطوات:

الخطوة الأولى: نظراً إلى قياس الرطوبة على أساس وزن مبلول، سوف نستعمل المعادلتين الأخيرتين. ونبدأ بحساب وزن المنتج الجاف.

$$DW = WW \times \left(1 - \frac{\%MWB_I}{100}\right) = 1,000.0 \times \left(1 - \frac{70.0\%}{100}\right) \\ = 1,000.0 \times 0.30 = 300 \text{ lb}$$

الخطوة الثانية: احسب الوزن المبلول الجديد عند نسبة الرطوبة المرغوب فيها:

$$WW_n = \frac{DW}{\left(1 - \frac{\%MWB_E}{100}\right)} = \frac{300 \text{ lb}}{1 - \frac{20\%}{100}} = 375 \text{ lb}$$

الخطوة الثالثة: يساوي مقدار الماء الذي تجب إزالته الفرق بين الوزن المبلول الأولي WW_I والوزن المبلول الجديد WW_n . أي:

$$WW_I - WW_n = 1,000 \text{ lb} - 375 \text{ lb} = 625 \text{ lb}$$

تجب إزالة 625 ليبرة ماء من المنتج لتغيير نسبة الرطوبة فيه من 70% MWB إلى 20% MWB (أي على أساس الوزن المبلول).

مسألة: يرغب طحّان في زيادة نسبة رطوبة 1000 بُشِل من القمح من نسبة رطوبة الخزن المساوية لـ 9% MDB إلى 16% MDB (أي على أساس الوزن الجاف). فما كمية الماء، مقدّرة بالليبرة، التي تجب إضافتها إلى القمح؟

الحل: الخطوة الأولى: استعمل معادلتَي الوزن الجاف مع ثابت التحويل $1 \text{ bu} = 60 \text{ lb}$ لحساب وزن المادة الجافة مقدّرة بالليبرة:

$$DW(lb) = \frac{WW}{1 + \frac{\%MDB}{100}} = \frac{1,000 \text{ bu} \times \frac{60 \text{ lb}}{\text{bu}}}{1 + \frac{9.0\%}{100}} = \frac{60,000 \text{ lb}}{1.09}$$

$$= 55,045.871 \dots \text{lb}$$

الخطوة الثانية: احسب وزن المنتج المبلول الجديد:

$$WW_n = DW \times \left(1 + \frac{\%MDB}{100}\right)$$

$$= 55,045.87156 \text{ lb} \times \left(1 + \frac{16.0\%}{100}\right) = 63,853.212 \dots \text{lb}$$

الخطوة الثالثة: احسب كمية الماء التي تجب إضافتها. ونظراً إلى أن هذه المسألة هي مثال على إضافة الماء، يُطرح الوزن الأولي من الوزن المبلول الجديد:

$$WW_n - WW_I = 63,853.212102 \text{ lb} - 60,000 \text{ lb}$$

$$= 3,853.212 \dots \text{lb}$$

على الطحان إضافة 3,800 ليبرة من الماء إلى القمح لرفع نسبة رطوبته إلى 16% MDB.

ومن المفيد أحياناً معرفة كيفية التحويل من أساس رطوبة إلى آخر. ويمكن تحقيق ذلك بالمعادلتين التاليتين:

$$\%MDB = \frac{100 \times \%MWB}{100 - \%MWB}$$

$$\%MWB = \frac{100 \times \%MDB}{100 + \%MDB}$$

مسألة: احسب نسبة الرطوبة المئوية %MDB، لمنتج إذا كانت نسبتها المئوية تساوي 50% MWB .

الحل:

$$\%MDB = \frac{100 \times \%MWB}{100 - \%MWB} = \frac{100 \times 50\%}{100 - 50\%} = \frac{5,000}{50} = 100\%$$

مسألة: احسب نسبة الرطوبة المئوية %MWB، لمنتج إذا كانت نسبتها المئوية تساوي 23.25% MDB .

الحل:

$$\begin{aligned} \%MWB &= \frac{100 \times \%MDB}{100 + \%MDB} = \frac{100 \times 23.25\%}{100 + 23.25\%} \\ &= 18.864 \dots \text{ or } 18.86\% \end{aligned}$$

9.20 خزن المنتجات الحيوية

استعملنا عبارة المنتجات الحيوية في هذا الفصل لأن المنتجات، مثل الحبوب والفواكه والخضراوات هي كائنات حية. ونظراً إلى أنها حية، فإن ثمة متطلبات دنيا لها من الرطوبة ودرجة الحرارة والهواء تحفظ مقدرتها على عدم التلف. يُضاف إلى ذلك أن من الممكن إطالة عمر المنتج إذا عُدلت درجة الحرارة أو نسبة الرطوبة والهواء في أثناء خزنه. والتحدّي الذي يواجه مديري كثير من هذه المنتجات هي إطالة عمرها التخزيني من دون الإخلال بمقدرتها على عد متغير لونها أو طعمها أو بنيتها. ويمكن الحصول على إرشادات وتوصيات تخص البيئة المثالية لخزن المنتجات الحيوية من أفراد التوعية الزراعية أو من إدارة الهندسة الزراعية.

10.20 مسائل بالوحدات مترية

تُحل مسائل البريئة ومنظومة النقل بالهواء بالطريقة نفسها، مع استعمال الوحدات المترية الملائمة. وتُستعمل المعادلات نفسها لإضافة أو إزالة الماء من المنتج، مع استعمال وحدات الكتلة بدلاً من وحدات الوزن.

مسألة: ما مقدار كتلة الماء، مقدرة بالكيلوغرام، الذي تجب إزالته من 1.2 طن متري من القمح لخفض نسبة رطوبته من 14.5 إلى 11.0 % MDB؟

الحل: ثلاث خطوات:

الخطوة الأولى: حدّد الكتلة الجافة:

$$\begin{aligned} DW(\text{kg}) &= \frac{WW_I}{1 + \frac{\%MDB_I}{100}} = \frac{1.2 \text{ t}}{1 + \frac{14.5\%}{100}} \times \frac{1,000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} = \frac{1,200}{1.145} \\ &= 1,048.03 \dots \text{kg} \end{aligned}$$

الخطوة الثانية: احسب الكتلة المبلولة الجديدة:

$$\begin{aligned} WW_n &= DW \times \left(1 + \frac{\%MDB_E}{100}\right) \\ &= 1,048.03 \text{ kg} \times \left(1 + \frac{11.0\%}{100}\right) = 1,163.31 \dots \text{kg} \end{aligned}$$

الخطوة الثالثة: اطرح الكتلة المبلولة النهائية من الكتلة الأولية:

$$\begin{aligned} \text{Water}(kg) &= WW_I - WW_E = 1.2 \, t \times \frac{1,000 \, kg}{1 \, t} - 1,163.31 \dots \\ &= 36.68 \dots \text{ or } 36.7 \, kg \end{aligned}$$

21.

إدارة فضلات الحيوانات

1.21 الأهداف

1. فهم أهمية إدارة فضلات الحيوانات.
2. التمكن من وصف طرائق تداول فضلات الحيوانات الصلبة.
3. التمكن من تحديد المقدار الأعظمي من فضلات الحيوانات الصلبة الذي يمكن تطبيقه على التربة.
4. التمكن من وصف طرائق تداول فضلات الحيوانات السائلة.
5. التمكن من تحديد ساعات وحدات خزن فضلات الحيوانات.
6. التمكن من وصف طرائق معالجة فضلات الحيوانات.

2.21 تقديم

عندما تكون الحيوانات طليقة، يمثل تبعثر مخلفاتها حلاً لمشكلة التلوث، لأن التلوث الخفيف ليس ضاراً. فالحيوانات الطليقة توزع مخلفاتها على منطقة كبيرة، وتساعد على ذلك العمليات الطبيعية أيضاً. أما عندما تكون الحيوانات محصورة، فتتركز الفضلات في بقعة واحدة، وتصبح جزءاً من عملية إدارة تربية الحيوانات. ولم تعد إدارة فضلات الحيوانات مجرد خيار في أعمال تربية المواشي، بل أصبحت ضرورة. ويجب أن تكون خطة جمع فضلات الحيوانات والتخلص منها جزءاً من خطط إدارة مرافق تربية المواشي. والتقصير في توفير

مرافق مناسبة لجمع الفضلات و تخزينها، إضافة إلى وسائل للتخلص منها، يمكن أن يؤدي إلى مشكلات تلوث تنطوي على عواقب قانونية، وإلى مشكلات صحية للحيوانات، وإلى ازدياد تكاليف الإنتاج، إضافة إلى ظروف عمل غير مقبولة عموماً. وفي معظم الولايات الأميركية، يجب أن يقوم معظم عمليات تربية المواشي في الحظائر على خطة شاملة لإدارة تغذيتها تتضمن:

1. تداول الفضلات

2. معالجة الفضلات

3. التخلص من الفضلات

وعندما يُتخذ القرار في أثناء عملية التخطيط لإقامة منشأة لتربية المواشي، يمكن للمنتج اختيار منظومة من نظم متنوعة كثيرة للتعامل مع الفضلات ومعالجتها والتخلص منها. أما اختيار المنظومة بعد إقامة المنشأة فيحد من الخيارات الممكنة.

3.21 تداول فضلات الحيوانات الصلبة

تُعتبر الفضلات التي تحتوي على 20% أو أكثر من المادة الصلبة أو مع نسبة رطوبة تساوي 50% MWB (على أساس وزن مبلول) أو أقل فضلات صلبة. ويتطلب التعامل السليم مع الفضلات الصلبة ضمن الحظائر وجود أراضي صلبة حيث يمكن فرشها وتصريف السوائل منها. وتُجمع الفضلات ولا تُعالج عادة إلا بالمعالجات الطبيعية في أثناء تخزينها. والطريقة المفضلة للتخلص منها هي محاكاة العمليات الطبيعية، أي نشرها فوق الأراضي. لكن إذا لم يُنفذ ذلك على نحو صحيح، يمكن لنشر مخلفات الحيوانات الصلبة فوق الأراضي أن يقلل من إنتاج النبات، وأن يولد روائح كريهة، ويسهم في تلوث

الأرض والمياه السطحية. لذا طُوِّرت إدارة خدمات الحفاظ على الموارد الطبيعية معايير لنشر مخلفات الحيوانات الصلبة على الأرض¹. وتقوم هذه المعايير على نوع التربة وميل الأرض والمسافة بين السطح والماء الجوفي. والتوصيات العامة لتلك المقاييس هي:

1. لا تُنشر الفضلات على التربة المغطاة بالثلج أو الجليد إذا كان ميلها أكبر من 5% إلا بعد اتّخاذ إجراءات خاصة للحد من جريان الماء.
2. لا تُنشر الفضلات على الأراضي الزراعية التي تتجاوز فيها ضياعات التربة الحدود المسموح بها.
3. لا تُنشر الفضلات على الأراضي الزراعية التي يزيد ميلها على 15%.
4. لا تُنشر الفضلات ضمن مسافة 200 قدم من الآبار وحُفَر التصريف ومجاري وأماكن الماء السطحي.
5. لا تُنشر السوائل إذا لم يكن عمق التربة ذات النفاذية المعتدلة 10 إنشات على الأقل.
6. لا تُنشر الفضلات على التربة العضوية التي يقع منسوب المياه الجوفية الموسمية فيها ضمن 1 قدم من السطح.
7. لا تُنشر الفضلات فوق سهول الفيضانات التي يحصل فيها الفيضان أكثر من مرة كل 10 سنوات.
8. يمكن نشر الفضلات على سهول الفيضانات إذا استُعملت طريقة الحقن أو التضمين المباشر في التربة.
9. لا تُنشر الفضلات فوق مجاري المياه المُقامة أو على أي منطقة يمكن أن يكون فيها تركيز لتدفق الماء.

¹ *Waste Utilization, Code 633*, Natural Resources Conservation Service, 2002.

10. لا يُعطى بالفضلات أكثر من 25% من مساحة الأرض.

يمكن للتقشير في اتباع هذه التوصيات أن يؤدي إلى تلوث الأرض أو الماء السطحي، ومن ثمَّ إلى إمكان فرض غرامات مالية على المخالف ومقاضاته قانونياً.

ملاحظة: ثمة برامج حاسوبية مختلفة لمساعدة المنتجين على حساب مقدار فضلات المواشي التي يمكن نشرها على الأراضي. والعملية اليدوية المذكورة في المقاطع التالية تبين الخطوات وأنواع المعلومات اللازمة لاستعمال أحد تلك البرامج.

وللحصول على نتائج دقيقة، فإن الخطوة الأولى في تحديد مقدار فضلات الحيوانات الصلبة التي تُمكن إضافتها إلى التربة هي تحليل كل من الفضلات والتربة لمعرفة مقادير النيتروجين والفوسفور فيهما. وإذا لم يُجرَ تحليل الفضلات، فإن من الممكن استعمال الملحق 6 لتقدير محتواها الغذائي. وهذه القيم هي قيم تقديرية لأن جُعالة الحيوان من العلف ونوع ومقدار التبن المستعمل، ومقدار السائل المضاف، ونوع المأوى ونظم استعمال السماد، ونظم الخزن جميعها تؤثر في محتوى الفضلات الحيوانية من الغذاء.

وعندما يكون محتوى التربة من الغذاء غير معروف، يجب تقديره قبل استعمال الملحق 6 (إنتاج وخواص فضلات الحيوانات الصلبة)، والملحق 7 (مغذيات النباتات)، والملحق 8 (معدل استعمال الفوسفات السنوي الأعظمي تبعاً لفئة التربة)، وذلك بغية تحديد مقدار الفضلات التي يمكن نشرها.

إن المبدأ الرئيسي الذي يحكم نشر فضلات الحيوانات الصلبة هو أنه يجب عدم نشر مغذيات في التربة يزيد على ما سوف يُزال منها من الحقل بواسطة

المحاصيل والحيوانات. ومن غير المحتمل أن تكون كمية كل مغذٍّ متوافقة مع حاجة النبات، ولذا فإن أكثر المغذّيات تقييداً في كميته يحدّد مقدار الفضلات الأعظمي الذي يمكن نشره. **ملاحظة:** يُفترض في هذه الطريقة أن نشر الفضلات يحصل أكثر من مرة في السنة بغية توزيع كمية الفضلات الكلية.

أما خطوات حساب مقدار الفضلات التي يمكن نشرها فهي:

1. حدّد كمية المغذّيات التي تنتج كل يوم من الملحق 6.
2. احسب وزن المغذّيات في اللبيرة من الفضلات.
3. حدّد كمية المغذّيات التي يُتوقع أن يستهلكها المحصول (الملحق 7).
4. حدّد كمية الفوسفور العظمى تبعاً لنوع التربة (الملحق 8).
5. احسب وزن الفضلات التي يمكن نشرها.

مسألة: احسب مقدار الفضلات الصلبة، التي تولّدها بقرات حلوب وزن الواحدة منها 1000 لبيرة، والتي يمكن نشرها على تربة دُبالية خشنة ذات عامل حموضة pH يساوي 6.5 لتسميد 60 بُشِل من القمح لكل إيكِر. لاحظ أننا افترضنا في هذا المثال عدم وجود مغذّيات في التربة.

الحل: من المفيد في هذا النوع من المسائل استعمال جدول، مثل الجدول 1.12 لإيجاد الجواب. حدّد أولاً مقدار المغذّيات في الفضلات والمقدار الأعظمي للفوسفور والنيتروجين الذي يمكن نشره. ويتحقّق ذلك بانتقاء القيم الملائمة من الملاحق 6 و 7 و 8 وتحويل الوحدات إلى ليبرات من المغذّي لكل لبيرة من الفضلات. من الملحق 6 نجد أن المغذّيات الناتجة يومياً تساوي:

$$\text{Nitrogen (N)} = 0.14 \frac{\text{lb}}{\text{day}}$$

$$\text{Phosphorus (P)} = 0.27 \frac{\text{lb}}{\text{day}}$$

وتُنتج كل بقرة 82 ليبرة من الفضلات في اليوم، وفقاً للملحق 6. ويمكن حساب كمية المغذيات في الليبرة من الفضلات باستعمال حذف الوحدات:

$$\frac{\text{nitrogen(lb)}}{\text{waste (lb)}} = \frac{0.14 \text{ lb N}}{1 \text{ day}} \times \frac{1 \text{ day}}{82 \text{ lb waste}} = 1.7 \text{ E} - 3 \frac{\text{lb N}}{\text{lb waste}}$$

$$\frac{\text{phosphorus (lb)}}{\text{waste (lb)}} = \frac{0.27 \text{ lb N}}{1 \text{ day}} \times \frac{1 \text{ day}}{82 \text{ lb waste}} = 3.3 \text{ E} - 3 \frac{\text{lb P}}{\text{lb waste}}$$

الخطوة التالية هي استعمال الملحق 7 لتحديد المغذيات التي يستعملها المحصول:

$$N = 125 \text{ lb/ac}$$

$$P = 50 \text{ lb/ac}$$

والمعلومة الأخيرة اللازمة لإيجاد الجواب هي تحديد الكمية العظمى من الفوسفور التي يمكن تطبيقها على التربة بناء على نوع التربة. وهذه المعلومة موجودة في الملحق 8:

$$P = 400 \text{ lb/ac}$$

وينتج الجواب بحساب معدّل نشر الفضلات، مقدّراً بالليبرة للإيكر في السنة، لكل مغذٍّ. وتتحدّد الكمية العظمى من الفضلات التي يمكن نشرها بأصغر كمية من بين الكميات الثلاث: كميتا النتروجين والفوسفور اللتان يستهلكهما النبات،

أو كمية الفوسفور التي يمكن تطبيقها على التربة. والنتائج مبينة في الجدول 1.21.

الجدول 1.21 حل المسألة.

المغذي	الحد الأقصى للتربة (lb/ac)	المغذي للمحصول (lb/ac)	نسبة المغذي في الفضلات (lb/lb)	معدل نشر الفضلات ((lb/ac) في السنة)
نتروجين	–	125	1.7×10^{-3}	*7400
فوسفور	–	50	3.3×10^{-3}	**15000
فوسفور	400	–	3.3×10^{-3}	***120000

$$\text{معدل نشر الفضلات السنوي}^* = \frac{125 \text{ lb N}}{1 \text{ ac}} \times \frac{1 \text{ lb waste}}{1.7 \text{ E}-3 \text{ lb N}} = 73,529.41 \text{ or } 7,400 \text{ lb/ac}$$

$$\text{معدل نشر الفضلات السنوي}^{**} = \frac{50 \text{ lb P}}{1 \text{ ac}} \times \frac{1 \text{ lb waste}}{3.3 \text{ E}-3 \text{ lb P}} = 15,151.15 \dots \text{ or } 15,000 \text{ lb/ac}$$

$$\begin{aligned} \text{معدل نشر الفضلات السنوي}^{***} &= (400 \text{ lb P}) / (1 \text{ ac}) \times (1 \text{ lb waste}) / (3.3 \text{ E} - 3 \text{ lb P}) \\ &= 121,212.12 \dots \text{ or } 120,000 \text{ lb/ac} \end{aligned}$$

يُبين الجدول 1.21 أن النتروجين هو أكثر المغذيين تقييداً (7400 ليبرة للإيكر في السنة). ولذا فإن كمية الفضلات العظمية التي تُعطىها البقرات الحلوب والتي يمكن تطبيقها سنوياً على التربة تساوي 7400 ليبرة للإيكر في السنة.

في المثال السابق، لم نهتم بالمغذيات الموجودة في التربة. إلا أن المقدار الفعلي الذي يمكن تطبيقه على التربة هو الفرق بين المغذيات التي يستهلكها النبات ومقدار المغذيات الموجودة في التربة.

ومن الجوانب الأخرى لإدارة الفضلات الصلبة تحديد المساحة اللازمة للتخلص بالتسميد من الفضلات التي يجري توليدها.

مسألة: ما المساحة اللازمة لنشر فضلات 50 بقرة حلوب؟ استعمل معلومات البقرات الواردة في المسألة السابقة.

الحل: يمكن تحديد جواب هذه المسألة باستعمال 7400 لبيرة من الفضلات للإيكر في السنة الواردة في المسألة السابقة، إضافة إلى معلومات أخرى من الملحق 6، وباستعمال حذف الوحدات. يُبين الملحق 6 أن البقرة الحلوب التي تزن 1000 لبيرة تولّد 82.0 من الفضلات يومياً. لذا:

$$A(\text{ac}) = \frac{1 \text{ ac}}{7,400 \text{ lb waste}} \times \frac{82.0 \text{ lb waste}}{\text{cow day}} \times 50 \text{ cow} \times 365 \text{ days}$$

$$= \frac{1,496,500}{7,400} = 202.22 \dots \text{ or } 202 \text{ ac}$$

ثمة حاجة إلى 202 إيكر على الأقل للتخلص بالتسميد من فضلات 50 بقرة حلوب في السنة. إنه لمن الضروري أن نتذكّر أننا افترضنا في المسألة الأصلية أن التربة لا تحتوي على نيتروجين أو فوسفور، ووجود أي كمية من أحدهما في التربة يقلّص مقدار الفضلات التي يمكن تطبيقها عليها، ومن ثمّ يزيد المساحة اللازمة للتخلص من فضلات الخمسين بقرة.

4.21 التعامل مع الفضلات السائلة

يُحصل إخراج الفضلات السائلة أو الوحلية من المبنى بكنسها أو شطفها من أماكن إسقاطها من قبل الحيوان، ثم وضعها في حفرة أو في خزان. وبعد جمعها، تُعالج أو يجري التخلص منها. ويجري التعامل مع فضلات الحيوانات في المعالف الموجودة في خارج المبنى بشطفها مع سيل الأمطار والمتساقطات الأخرى التي تجرفها معها إلى مصرف أو منظومة تجميع بغية إزالتها أو معالجتها فيما بعد والتخلص منها. وتُخرج الفضلات السائلة عادة بالضح، ويجري التخلص منها بنشرها على سطح التربة أو حقنها فيها. ويتحدد مقدار الفضلات الأعظمي الذي يمكن نشره على التربة بالصيغة السائلة باتباع الإجراءات نفسها المستعملة في نشر الفضلات الصلبة.

إلا أن التعامل مع الفضلات السائلة أكثر صعوبة من تداول الفضلات الصلبة لأنها يجب أن تُخزن في خزانات أو حُفَر، ويجب ضخها. يُضاف إلى ذلك أنه نظراً إلى أن فضلات الحيوانات يجب ألا تُنشر على أرض جليدية، يجب أن تكون سعة وحدة الخزن كافية لخزن كل الفضلات عندما تكون الأرض متجمدة.

مسألة: ما حجم الخزان فوق الأرضي، مقدراً بالغالون، اللازم لخزن فضلات 100 بقرة مدة 6 أسابيع؟

الحل: باستعمال الملحق 6 وحذف الوحدات (لاحظ أنه يمكن تحويل الأوزان إلى حجوم إذا كانت الشدة معروفة):

$$\begin{aligned}
 V(\text{gal}) &= \frac{1 \text{ gal}}{0.13368 \text{ ft}^3} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{60.0 \text{ lb}} \times \frac{33.0 \text{ lb}}{\text{cow} - \text{day}} \times \frac{7 \text{ day}}{1 \text{ week}} \\
 &\quad \times \frac{6 \text{ weeks}}{1} \times \frac{100 \text{ Cows}}{1} \\
 &= \frac{138,600}{8.0208} = 17,280.07 \dots \text{ or } 17,300 \text{ gal}
 \end{aligned}$$

وثمة مشكلة أخرى تنشأ حين التعامل مع الفضلات السائلة هي الحيز اللازم للخران.

مسألة: ما مقدار ارتفاع خزان المسألة السابقة إذا كان قطر الحيز المتاح له يساوي 20.0 قدم؟

الحل: هذه مسألة جيدة لاستعمال حذف الوحدات:

$$\begin{aligned}
 H(\text{ft}) &= \frac{0.13368 \text{ ft}^3}{1 \text{ gal}} \times \frac{17,300 \text{ gal}}{1} \times \frac{1}{\pi \times (20.0 \text{ ft})^2 / 4} \\
 &= \frac{2,312.664}{314.159} = 7.3614 \dots \text{ or } 7.36 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

5.21 معالجة الفضلات

معالجة الفضلات هي عملية تجعلها أكثر ملاءمة للتخلص النهائي منها. ويمكن استعمال طريقتين أساسيتين للمعالجة الحيوية هما: الطريقة الهوائية والطريقة اللاهوائية.

1.5.21 المعالجة الهوائية

تُحصل المعالجة الهوائية عندما يكون ثمة أكسجين منحل في الفضلات كافيًا لجعل الجراثيم الهوائية (التي تستعمل الأكسجين) تُفكّك مادة الفضلات العضوية. وهي من حيث الجوهر عملية عديمة الرائحة. والطرائق الثلاث التي تعتمد على الجراثيم الهوائية هي: التكوين والتقليب [التحويل إلى سماد]، والوضع في حوض ضحل، والنشر بالجريان على الأرض.

في الطريقة الأولى، تُكوّم الفضلات وتُقلّب على نحو متكرر بغية تهويتها وتسهيل تفكيكها بواسطة الجراثيم الهوائية، وذلك مع الحفاظ على درجة حرارة ضمن كومة الفضلات كافية لقتل المتعضيات المُمرضة وبذور الطفيليات. ويتقلّص حجم الفضلات بهذه الطريقة بمقدار 30-60% من حجمها الأصلي.

أما في طريقة الحوض الضحل، فتوضع الفضلات بعد خلطها بالوحد في حوض قليل العمق (3-5 أقدام). ويتحقّق تفكّك المادة العضوية بواسطة جراثيم هوائية يُوفّر الأكسجين لها بنفخ الهواء ضمن السائل، أو تحريكها، وذلك بغية تسريع العملية.

وفي طريقة النشر بالجريان، تُمهّد منطقة من الأرض وتُجعل مائلة قليلاً بحيث يجري الماء عليها على نحو متجانس، وتُزرع بالعشب. وتقوم الجراثيم الهوائية التي تعيش على السطح المبلول للعشب والتربة بتفكيك الفضلات.

2.5.21 المعالجة اللاهوائية

تقوم بالمعالجة اللاهوائية بكتريا لاهوائية تستهلك الأكسجين الموجود في المادة العضوية نفسها في أثناء تفكيكها. وتتبعث في هذه العملية غازات ذات

رائحة كريهة. وأكثر الطرق شيوعاً في هذا النوع من المعالجة هي طريقة الحوض اللاهوائي المتوسط العمق.

يتصف الحوض اللاهوائي بعمق كبير نسبياً (12-14 قدم)، وتوضع فيه الفضلات السائلة حيث يوفر لها مناخاً ملائماً للتفكيك بواسطة البكتريا اللاهوائية. أي إنه لا يُتخذ أي إجراء لإدخال الأكسجين في السائل. ويمكن لهذه الطريق أن تفكك كمية من المادة العضوية لوحدة الحجم تفوق ما يمكن تفكيكه بالحوض الهوائي، إلا أن الروائح الكريهة التي تنبعث منه قد تقتضي تخصيص مكان ناء لوضعه فيه.

6.21 مسائل بالوحدات المترية

تتطبق مبادئ التعامل مع الفضلات ومعالجتها والتخلص منها نفسها على الوحدات المترية أيضاً. والفوارق الوحيدة في المسائل المترية هي الوحدات المستعملة.

مسألة: حدد كمية الفضلات الصلبة التي تولدها نِعا ج من فئة الوزن 91 كيلوغراماً، والتي يمكن تطبيقها على تربة دُبالية خشنة عامل حموضتها pH يساوي 6.5، وتُستعمل لتسميد أرض تستوعب 5.0 أمتار مكعبة من القمح في الهكتار. ويُبين اختبار للتربة وجود 35.5 كيلوغراماً من النتروجين و 15.0 كيلوغراماً من الفوسفور في الهكتار من الأرض المتاحة للزراعة.

الحل: نستعمل أولاً الملحق 6 لتحديد مقدار النتروجين والفوسفور الذي يوجد في فضلات الحيوانات. لاحظ أن وحدات الملحق 6 تنتج بالتحويل المباشر:

$$N = 0.0305 \text{ kg/day}$$

$$P = 0.0204 \text{ kg/day}$$

والخطوة الثانية هي تحديد كمية المغذيات في الليبرة من الفضلات:

$$\frac{N(\text{kg})}{\text{waste}(\text{kg})} = \frac{0.0305 \text{ kg}}{1 \text{ day}} \times \frac{1 \text{ day}}{5.9 \text{ kg waste}}$$

$$= 0.005169 \dots \text{ or } 0.0052 \frac{\text{kg N}}{\text{kg waste}}$$

$$\frac{P(\text{kg})}{\text{waste}(\text{kg})} = \frac{0.0204 \text{ kg}}{1 \text{ day}} \times \frac{1 \text{ day}}{5.9 \text{ kg waste}}$$

$$= 0.003457 \dots \text{ or } 0.0034 \frac{\text{kg P}}{\text{kg waste}}$$

ثم نحدّد المقدار الصافي من المغذيات اللازم للمحصول، ويتحقّق ذلك بطرح المغذيات المتوفّرة في التربة من المغذيات التي يستهلكها المحصول. انظر الملحق 6:

$$N \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{140 \text{ kg N}}{\text{ha}} - \frac{35.3 \text{ kg N}}{\text{ha}} = 104.7 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}}$$

$$P \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{56 \text{ kg P}}{\text{ha}} - \frac{15 \text{ kg P}}{\text{ha}} = 41 \frac{\text{kg P}}{\text{ha}}$$

وفي النهاية نحدّد كمية الفضلات، مقدّرة بالكيلوغرام، التي يمكن نشرها على الهكتار. ويتحقّق ذلك بضرب كمية المغذيات الصافية التي يستهلكها المحصول بكمية المغذيات الموجودة في الكيلوغرام من الفضلات:

$$\text{Nitrogen waste} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{1 \text{ kg waste}}{0.0052 \text{ kg N}} \times \frac{104.7 \text{ kg N}}{\text{ha}}$$

$$= 20,134.61 \dots \text{ or } 20,000 \frac{\text{kg waste}}{\text{ha}}$$

$$\text{phosphorus waste} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{1 \text{ kg waste}}{0.0034 \text{ kg P}} \times \frac{40 \text{ kg P}}{\text{ha}}$$

$$= 11,764.7 \dots \text{ or } 12,000 \frac{\text{kg waste}}{\text{ha}}$$

وتساوي الكمية العظمى من الفوسفور التي يمكن تطبيقها:

$$\text{phosphorus soil limits waste} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right)$$

$$= \frac{1 \text{ kg waste}}{0.0034 \text{ kg P}} \times \frac{448 \text{ kg P}}{\text{ha}}$$

$$= 131,764.7 \dots \text{ or } 130,000 \frac{\text{kg waste}}{\text{ha}}$$

الكمية الدنيا من الفضلات، من حيث الفوسفور، هي 12000 كيلوغرام للهكتار، وهي الكمية التي يمكن تطبيقها على التربة سنوياً.

22.

العزل والتدفق الحراري

1.22 الأهداف

1. فهم مبادئ العزل والتدفق الحراريين.
2. فهم وظيفة العزل.
3. فهم القيمتين R و U.
4. التمكن من حساب المقاومة الحرارية الكلية لمكونات المبنى.
5. التمكن من تحديد مقدار الحرارة التي تتدفق عبر مكونات المبنى.

2.22 تقديم

لكل كائن حي بيئته المفضلة. وعندما لا تكون خصائص البيئة ضمن المجال المفضل له، يتعرض إلى الإجهاد. ويؤدي الإجهاد إلى تقليص إنتاجيته وزيادة تعرضه للأمراض وتقصير مدة خزنه، إضافة إلى كثير من المشكلات الأخرى. وفي البيئة الطبيعية، تبحث المتعضيات عن بيئاتها بالانتقال من مكان إلى آخر. وعندما توضع الحيوانات وغيرها من المتعضيات في أماكن محصورة، لا تستطيع التجوال، ولذا يجب ضبط البيئة بحيث تحقق متطلباتها. ومن الطرائق التي تُضبط بها البيئة التدفئة والتبريد.

تُعتبر الحرارة صيغة من صيغ الطاقة، وهي تنتقل بثلاث طرائق:

1. الإشعاع: وهو تبادل الطاقة الحرارية بين الأشياء المختلفة بواسطة الأمواج الكهرومغناطيسية.
2. الحمل: وهو نقل الحرارة بين الأشياء بحملها على غاز أو سائل يتحرك بين تلك الأشياء.
3. التوصيل: وهو تبادل الحرارة بين الأشياء المتماسة معاً وذات درجات الحرارة المختلفة.

وتتصف حسابات انتقال الحرارة بالإشعاع والحمل بكونها أكثر صعوبة منها في حالة التوصيل. لذا سوف نشرح ضياعات التوصيل الحرارية بمزيد من التفصيل لتوضيح العوامل التي تؤثر في مقدار ومعدل انتقال الحرارة، ومنها المساحة التي تمر الحرارة عبرها، والفرق بين درجتي حرارة الجسمين المتماسين، والمقاومة الحرارية للمواد. وسوف نناقش هذه المفاهيم وغيرها في هذا الفصل. وسوف نبين في المقاطع التالية أنه كلما كانت تلك المساحة أكبر، كان التدفق الحراري أكبر. وتوجد علاقة مشابهة تخص درجة الحرارة أيضاً. فكلما كان الفرق بين درجتي الحرارة أكبر، كان التدفق الحراري أكبر. وتعتمد مقاومة المادة الحرارية على كثافتها في المقام الأول. والمادة التي تحتوي على فقاعات هوائية صغيرة كثيرة تتصف بمقاومة حرارية أكبر. وتوصف المادة ذات المقاومة الحرارية العالية بأنها عازل.

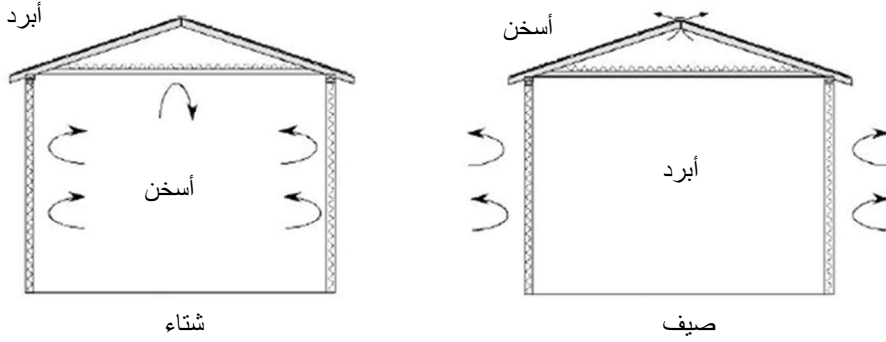
3.22 العازل

العازل هو أي مادة تقلص معدل انتقال الحرارة بالتوصيل. وتتصف كل مواد البناء ببعض المقاومة لانتقال الحرارة عبرها، إلا أن بعضها، وهي العوازل، تتصف بكونها أكثر مقاومة من غيرها. ومن الخصائص الشائعة للمواد العازلة الشدة المنخفضة (مقدرة بالليبرة للقدم المكعب، أو الكيلوغرام للمتر المكعب).

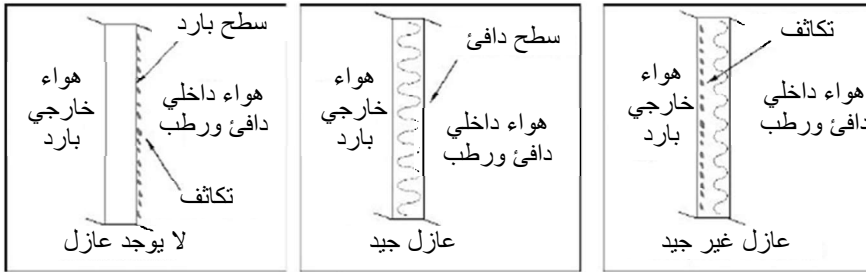
فالبوليستيرين الممدد، ذو الشدة المنخفضة، يتصف بمقاومة حرارية أكبر من مقاومة الخرسانة ذات الشدة العالية جداً. ومع زيادة شدة المادة، بضغطها أو إضافة الماء إليها على سبيل المثال، تتقلص المقاومة الحرارية أيضاً.

وتتصف بعض المواد، مثل الخشب والخرسانة، وبعض المواد العازلة، بأنها قد تكون متجانسة. أي إنها تكون متماثلة البنية في كل أجزائها. وقيم عزل تلك المواد مُدرّجة في الملحق 9 بوصفها تابعة لسماكتها المقدّرة بالإنش. أما المواد الأخرى، مثل لبنات الخرسانة وألواح التغطية الخارجية العازلة، فليست متجانسة. فهي قد تحتوي على ثقوب ضمنها، أو يمكن أن تكون مركّبة من أكثر من مادة واحدة. وتعتمد قيمة عزل هذه المواد على الاختبار الحراري لعَيّنات منها، ويجب استعمال قيمة مختلفة لكل سماكة. انظر الملحق 9.

ثمة ثلاثة أسباب عامة لعزل المنازل وغيرها من المباني. انظر الشكلين 1.22 و 2.22. (1) يقلّص العزل ضياع الحرارة من داخل أي حيز مغلق في الشتاء، ومن ثمّ مقدار التسخين الإضافي اللازم للحفاظ على درجة حرارته. (2) يساعد العزل على تقليل الكسب الحراري في الصيف، ومن ثمّ تقليل تحميل تجهيزات التبريد (الشكل 1.22). (3) يُستعمل العزل للتحكّم في درجة حرارة التكاثف بحيث لا يحصل ضمن الجدار أو على سطح داخلي (الشكل 2.22). والتكاثف هو تحوّل بخار الماء إلى سائل، وهو يحصل عندما يبرد الهواء الدافئ الرطب أو يتماس مع سطح بارد. وسوف نشرح التكاثف بمزيد من التفاصيل في الفصل القادم الذي يدور حول رطوبة الغازات. ويمكن للتكاثف أن يحصل على السطح الخارجي للجدار (الشكل 2.22)، أو على أي سطح ضمن الجدار إذا لم يُستعمل عائق لدخول البخار إليه، وكان العازل غير ملائم لفرق درجة الحرارة.



الشكل 1.22 يفيد العزل في تقليل ضياع الحرارة في الشتاء أو اكتسابها في الصيف.



الشكل 2.22 يمنع العزل الجيد تكاثف الرطوبة في الشتاء.

4.22 القيمتان R و U

ثمة عددان مختلفان يُستعملان لوصف خواص العزل في مواد البناء، هما القيمة R والقيمة U. والقيمة R هي عدد يمثل المقاومة الحرارية للمادة. وتعبّر القيمة U عن التوصيلية أو الناقلية الحرارية للمادة. وباستعمال الوحدة العادية الأمريكية، تعني قيمة U التي تساوي 1 أن وحدة حرارية بريطانية BTU من

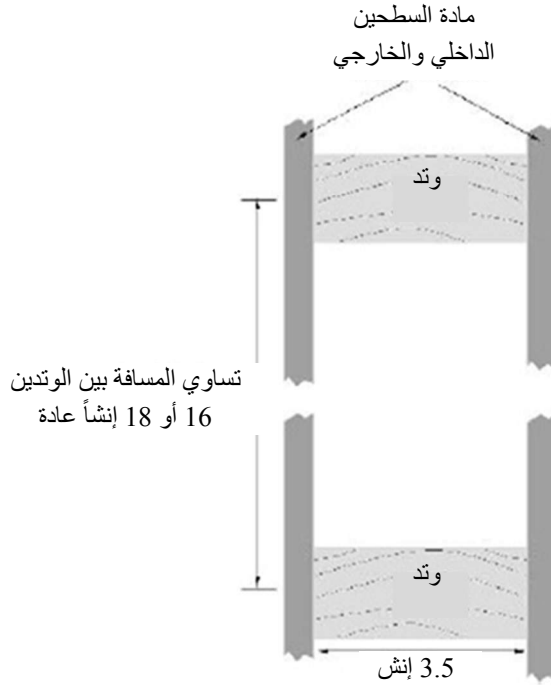
الحرارة سوف تتدفق في الساعة عبر مساحة مقدارها قدم مربع واحد من أجل فرق يساوي درجة واحدة بين درجتَي حرارة جانبي المادة. والوحدة الحرارية البريطانية هي مقدار الحرارة اللازم لرفع درجة حرارة ليبرة واحدة من الماء بمقدار درجة فهرنهايت واحدة. وفي منظومة الوحدات المترية، الوحدة المفضلة للحرارة هي الكيلوجول. ويساوي الجول 9.478×10^{-4} BTU، وهو مقدار الحرارة اللازم لرفع درجة حرارة 1 غرام من الماء بمقدار درجة مئوية واحدة.

أما القيمة R ، فهي عكس القيمة U (أي $R = 1/U$). لذا تزداد مقدرة المادة على العزل بازدياد القيمة R وينقصان القيم U . وتساوي القيمة R لمكوّن بناء غير متجانس مجموع القيم R للمواد التي يتألف منها المكوّن. ويمكن للمادة غير المتجانسة أن تكون مادة بناء، مثل لبنة خرسانية، أو جزءاً من مبنى، مثل جدار أو سقف. ووحدة U هي: $\frac{BTU}{^\circ F \times A_u \times hr}$ أو $\frac{J}{^\circ C \times A_u \times hr}$ ، حيث A_u مساحة سطح المادة الذي تتدفق الحرارة عبره مقدرةً بالقدم المربع أو المتر المربع. ونظراً إلى أن وحدة R هي عكس وحدة U ، فإنها تساوي $\frac{^\circ F \times A_u \times hr}{BTU}$ أو $\frac{^\circ C \times A_u \times hr}{J}$. ويحتوي الملحق 9 على قيم R لبعض مواد البناء الشائعة المتجانسة وغير المتجانسة.

تُحدّد طبيعة المبنى وأنواع ومقادير المواد العازلة المستعملة فيها معدّل تدفق الحرارة (مقدراً بالوحدة الحرارية البريطانية في الساعة في المنظومة العادية الأميركية، وبالجول في الساعة في المنظومة المترية) عبر المبنى أو مكوّناته. ومن مكوّنات المباني الشائعة الجدران والأبواب والنوافذ والأرضيات والأسقف والأسطح. وتساعد معرفة قيم العزل النسبية لمواد البناء المختلفة وكيفية وضعها معاً على اختيار مواد العزل الملائمة لتطبيق أو مبنى معين.

لتحديد المقاومة الحرارية الكلية لجدار، اكتب واجمع قيم المقاومات الحرارية لأجزائه المختلفة. وفي حالة المواد المتجانسة، تتحدد قيمة المقاومة الحرارية الكلية بسماكة المادة (مقدرة بالإنش) المستعملة مضروبة بقيمة R للإنش من السماكة. وفي حالة المواد غير المتجانسة، اختر قيمة المقاومة الحرارية لسماكة المادة المعنية.

وثمة عاملان مهمان آخران في تحديد المقاومة الحرارية الكلية للجدار. الأول هو المقاومة الحرارية لطبقة الهواء الساكن المجاورة لأي سطح، وأي حيز هوائي ضمن الجدار أو السقف أو الأرضية. ويُعتبر الهواء الساكن عازلاً جيداً، وتوفّر طبقة الهواء الرقيقة الملتصقة بالسطحين الداخلي والخارجي مقاومة حرارية لا بأس بها. ويتضمن الملحق 9 قيم R الشائعة لطبقتي الهواء الرقيقتين الداخلية والخارجية المجاورتين للجدار. والعامل الثاني، هو فهم طرائق البناء المتبعة. في حالة المباني المكوّنة من أطر خشبية، تُصنع الجدران عادة من عوارض خشبية بُعْداً مقطعيها العرضاني يساويان 4×2 أو 6×2 إنش. وتُباع تلك العوارض بمقاسات اسمية، أما مقاساتها الفعلية فهي أصغر. فالمقاس الاسمي 2×4 إنش عملياً هو $1\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2}$ إنش، والمقاس 2×6 إنش \times 6 إنش هو عملياً هو $1\frac{1}{2} \times 5\frac{1}{2}$ إنش. وتُبنى الجدران المؤطرة عادة بقطع من ألواح طويلة متعامدة مع الجدار، مع مواد مختلفة مثبتة على الجانبين لتكوينه. ويمكن ملء الفجوة بين السطحين كلياً أو جزئياً بمادة عازلة. انظر الشكل 3.22.

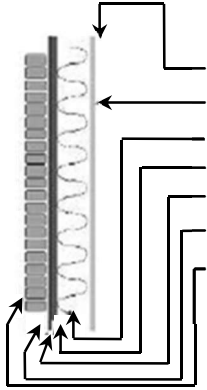


الشكل 3.22 مقطع عرضاني سفلي لبنية جدار خشبي مؤطر.

مسألة: حدّد المقاومة الحرارية الكلية R_T لجدار خشبي مؤطر 4×2 . يُغطى الجانب الخارجي من الجدار بلوح خشب مضغوط متوسط الشدة سماكته تساوي 0.5 إنش، ولبادة مانعة لمرور البخار وآجرات مشوية تساوي سماكة الواحدة منها 2.5 إنش وتساوي كثافتها 100 لبيرة للقدم المكعب. أما السطح الداخلي فهو مغطى بلوح من البلاستر تساوي سماكته 0.5 إنش. والجدار مملوء بألياف السللوز الحرة المتوسط الشدة.

الحل: تساوي القيمة R الخاصة بالجدار مجموع القيم R للمكوّنات الإفرادية. وفي هذا النوع من المسائل، يمكن لمخطط للجدار ولجدول بياناته أن يُساعد

على درء الأخطاء. انظر الشكل 4.22 من أجل الحل. أما القيم R فقد أُخذت من الملحق 8.



غشاء هواء رقيق في الداخل	0.68
لوح بلاستر (0.5 إنش)	0.45
سلّوز (3.5 إنش، $R=3.70$ للإنش)	12.95
لوح خشب مضغوط (0.5 إنش)	0.53
لبادة	0.06
آجر (2.5 إنش \times 0.20)	0.50
غشاء هواء رقيق في الخارج	0.17
قيمة R للجدار	15.34

الشكل 4.22 حل مسألة المقاومة الحرارية الكلية.

وفيما يخص هذا الجدار تحديداً، تساوي المقاومة الحرارية الكلية $R_T = 15.34$. **ملاحظة:** نظراً إلى استعمال ألياف عازلة حرة، تساوي سماكة العازل عرض فجوة الجدار، أي 3.5 إنش. لكن حين استعمال عازل على شكل لبادة سماكتها لا تساوي عرض فجوة الجدار، سوف تكون في فجوة الجدار طبقة هوائية، وتُستعمل حينئذ قيمة R للسطحين الداخليين إذا كان عرض الطبقة الهوائية أقل من 0.75 إنش. على سبيل المثال، إذا كانت سماكة العازل في الجدار تساوي 3.0 إنش من لبادة منخفضة الشدة، فإن $R_T = 12.75$. انظر الجدول 1.22.

الجدول 1.22 حل مسألة العازل.

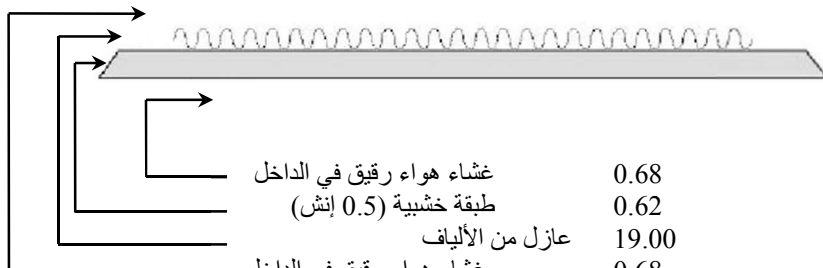
0.68	غشاء هواء داخلي
0.45	لوح بلاستر
9.00	ألياف (3.0 إنش \times 3.0 R للإنش)
1.36	فجوة (2 \times 0.68)
0.53	لوح خشب مضغوط
0.06	لبادة
0.50	آجرة
0.17	غشاء هواء خارجي
12.75	المجموع

يمكن استعمال نوع الجدول والإجراء نفسه لحساب قيمة R لأيّ مكوّن من مكوّنات المبنى. فببساطة، اجمع القيم R لكل نوع من المواد وغشائي الهواء الداخلي والخارجي. **ملاحظة:** تتضمن بعض مصادر قيم R قيمة غشاء الهواء مع القيمة التي تخص المادة.

مسألة: ما مقدار قيمة المقاومة الحرارية الكلية (R_T) لسقف مبني من طبقة خشبية سماكتها تساوي 0.5 إنش للسطح الداخلي، مع لبادة منخفضة الشدة سماكتها 6.0 إنشات فوق الطبقة الخشبية؟

الحل: تمثّل هذه المسألة حالة مختلفة لأن كلا سطحي السقف غير معرّضين إلى الظروف الخارجية (يوجد سطح قرميدي فوق السطح). وفي المباني ذات التهوية الضعيفة فوق السقف، يجب استعمال قيمة R نفسها لغشاء الهواء الداخلي في كلا جانبي السقف. وعندما تكون التهوية فوق السقف جيدة، فإن قيمة R لغشاء الهواء الخارجي تكون ملائمة. وفي هذه المسألة سوف نفترض أن منطقة ما فوق السقف ليست جيدة التهوية.

في هذا المثال، تساوي القيمة الكلية لمقاومة السقف الحرارية 20.98. انظر الشكل 5.22. أما منطقة المبنى التي يُعتبر تحديد مقاومتها الحرارية الكلية أكثر صعوبة فهي الأرضية. لا تتصف بلاطة الأرضية الخرسانية بتدرُّج حراري متجانس في أجزائها كافة ، وتؤدي خصائص العزل الحراري للأرض إلى جعل درجات الحرارة بين الحيز الداخلي والأرض في مركز الأرضية مختلفة عن تلك التي عند الحواف. ويتضمن الملحق 9 تقديرات لقيم المقاومة الحرارية للأرضيات المعزولة وغير المعزولة.



غشاء هواء رقيق في الداخل	0.68
طبقة خشبية (0.5 إنش)	0.62
عازل من الألياف	19.00
غشاء هواء رقيق في الداخل	0.68
قيمة R الكلية للسقف	20.98

الشكل 5.22 حل مسألة المقاومة الحرارية الكلية للسقف.

5.22 تدفق الحرارة

يعتمد تدفق الحرارة عبر جدار على المقاومة الحرارية للجدار، وعلى الفرق بين درجتي الحرارة على جانبي الجدار، وعلى مساحته:

$$Q = \frac{A \times \Delta T}{R}$$

حيث Q هو معدل التدفق الحراري مقدراً بالوحدة الحرارية البريطانية في الساعة، و A هي مساحة الجدار (مكوّن المبنى) مقدرة بالقدم المربع،

و ΔT الفرق بين درجتي الحرارة عند جانبي المكوّن مقدراً بدرجة فهرنهايت،
 و R هي المقاومة الحرارية الكلية لمكوّن المبنى $\frac{^{\circ}\text{F} \times \text{A}_u \times \text{hr}}{\text{BTU}}$.
 تتدفق الحرارة من الجانب ذي درجة الحرارة التي هي أعلى إلى الجانب الآخر. وعندما تكون درجة حرارة الداخل أعلى من درجة حرارة الخارج، يكون التدفق من الداخل إلى الخارج.

مسألة: حدّد التدفق الحراري عبر جدار بُعده يساوان 8.0 قدم \times 10.0 قدم،
 وتساوي مقاومته الحرارية الكلية 1.22، وتساوي درجة حرارة الداخل 60 درجة
 فهرنهايت، وتساوي درجة حرارة الخارج 10 درجة فهرنهايت.

الحل:

$$Q = \frac{A \times \Delta T}{R} = \frac{(8.0 \text{ ft} \times 10.0 \text{ ft}) \times (60^{\circ}\text{F} - 10^{\circ}\text{F})}{1.22 \frac{\text{ft}^2 \times ^{\circ}\text{F} \times \text{hr}}{\text{BTU}}}$$

$$= 3,278.68 \dots \text{ or } 3,300 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

سوف تنتقل الحرارة عبر الجدار بمعدل 3,300 وحدة حرارية بريطانية في الساعة.

يمكن حساب التدفق الحراري باستعمال هذه الطريقة لجميع مكوّنات المبنى عدا الأرضية. وإذا كانت الأرضية بلاطة خرسانية، سوف يتغيّر فرق درجة الحرارة ΔT من مكان إلى آخر في البلاطة حين الانتقال من الحافة الخارجية للمبنى باتجاه مركز البلاطة. ويتضمن الملحق 9 محصلة قيم R لهذا النوع من الأرضيات أو بلاطات الخرسانة التي يوجد عازل تحتها. وحين استعمال أيّ من هاتين القيمتين، يُستعاض بمحيط المبنى، المقدّر بالقدم، عن المساحة المقدّرة بالقدم المربع، في معادلة تدفق الحرارة. وإذا وُجد تحت الأرضية حيّز

للتمديدات الكهربائية والصحية، أمكن حساب قيمة R الكلية باستعمال نفس إجراء السقف. أما فيما يخص الأرضيات الموجودة فوق الأقبية، فحساب مقاومتها أعقد كثيراً ولم نناقشها في هذا الكتاب.

باستعمال المعلومات التي قدّمناها في المقاطع السابقة يمكن حساب التدفق التوصيلي الحراري الكلي لمكوّنات المبنى. وقد أُدرجت عملية حساب التدفق الحراري الكلي في الفصل القادم لأن التدفق الحراري الكلي يجب أن يتضمن الكسب والفقد الحراريين اللذين يحصلان في عملية التهوية.

6.22 مسائل بالوحدات المترية

مسألة: حدّد معدل التدفق الحراري عبر جدار بُعدها يساويان 2.5 متر و 3 أمتار، ومقاومته الحرارية الكلية تساوي $\frac{\text{kJ}}{^\circ\text{C} \times \text{m}^2 \times \text{hr}}$ 6.93، وتساوي درجة الحرارة الداخلية 16 درجة مئوية، وتساوي درجة الحرارة الخارجية 12 درجة مئوية.

الحل:

$$Q = \frac{A \times \Delta T}{R} = \frac{(2.5 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}) \times (16^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C})}{6.93 \frac{\text{m}^2 \times ^\circ\text{C} \times \text{hr}}{\text{kJ}}} = 4.32 \dots \text{or } 4.3 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}}$$

تنتقل الحرارة عبر هذا الجدار بمعدّل 4.3 كيلوجول في الساعة.

23.

التدفئة والتهوية وتكييف الهواء

1.23 الأهداف

1. فهم مبادئ التدفئة.
2. التمكن من تحديد توازن المبنى حرارياً.
3. التمكن من سرد وتعريف الخواص الفيزيائية السبع للهواء.
4. من معرفة خاصيتين للهواء، التمكن من إيجاد الخواص الأخرى على مخطط قياسات رطوبة الهواء.
5. التمكن من حساب معدل التهوية.
6. فهم مبادئ تكييف الهواء

2.23 تقديم

الهواء هو مزيج معقد من الغازات وبخار الماء والحرارة. وجميع الكائنات الحية تحتاج إلى هذه المكونات الثلاثة، لكن ليس بالنسب نفسها بالضرورة. ويوجد لكل كائن حي مجال أمثل من هذه الظروف الثلاثة، وعندما تكون تلك الظروف غير جيدة، يتعرض الكائن الحي إلى الإجهاد. ويمكن لضبط هذه المكونات أن يكون صعباً ضمن البيئة الزراعية. فالتدفئة والتبريد والتهوية تُستعمل لتغيير البيئة الطبيعية الداخلية بغية تقليص الإجهاد البيئي للحيوانات والمنتجات الحيوية.

تقوم المقدرة على ضبط بيئة المبنى على فهم قياسات رطوبة الهواء (Psychometrics). فعناصر الهواء وطريقة التعامل معها أسهل فهماً باستعمال مخططات قياسات رطوبة الهواء. وفي المقاطع التالية سوف نشرح تلك المخططات ونقدّم أمثلة عن استعمالها في التدفئة والتهوية.

3.23 مخطط قياسات رطوبة الهواء

مخطط قياسات رطوبة الهواء هو تمثيل بياني للخواص الفيزيائية السبع للهواء. وتُعرّف هذه الخواص وفقاً لما يلي:

1. درجة حرارة مقياس الحرارة ذي البُصَيِّلة الجافة: وهي درجة حرارة الهواء التي يُشير إليها مقياس حرارة عادي (البُصَيِّلة هي الجزء المنتفخ في أسفل مقياس الحرارة). ويُعبّر عن درجة الحرارة هذه (وجميع درجات الحرارة الأخرى) عادة بدرجة فهرنهايت ($^{\circ}\text{F}$) في منظومة الوحدات العادية، وبالدرجة المئوية (سلسيوس $^{\circ}\text{C}$) في المنظومة المترية.
2. درجة حرارة مقياس الحرارة ذي البُصَيِّلة المبلولة: تتحدّد درجة الحرارة هذه بواسطة مقياس حرارة معياري بعد إحاطة بُصَيِّلته بشاشة أو جورب مع وسيلة تبقيهما مبلولين. فعندما يجري الهواء فوق الجورب المبلول، يمتص (من خلال البخار) بعض الماء منه مبرّداً بُصَيِّلة مقياس الحرارة. وكلما كان الهواء أكثر جفافاً، كان البخار أكبر، وكان مفعول التبريد أقوى. ويسمّى الفرق بين درجة حرارة البُصَيِّلة الجافة ودرجة حرارة البُصَيِّلة المبلولة انخفاض البُصَيِّلة المبلولة. ويمكن قياس درجتَي حرارة البُصَيِّلة الجافة والبُصَيِّلة المبلولة بجهاز يسمّى مقياس رطوبة الجو.

3. الرطوبة النسبية: الرطوبة النسبية هي نسبة مقدار الماء الموجود في الهواء إلى مقدار الماء الأعظمي الذي يمكن للهواء الإمساك به، أي ذاك الذي يتحقق حينما يكون الهواء مشبعاً بالماء تماماً. ويُعبّر عن الرطوبة النسبية بنسبة مئوية يمكن أن تختلف قيمتها من 0% (هواء جاف تماماً) حتى 100% (هواء مشبع تماماً).

4. محتوى الرطوبة: محتوى الرطوبة هي تعبير عن المقدار الفعلي للماء الموجود في الهواء بشكل بخار. ويُعبّر عن كمية الرطوبة بنسبة وزن الماء، مقدراً بالليبرة، إلى وزن الهواء مقدراً بالليبرة (ليبرة ماء / ليبرة هواء) أو عدد قُطيرات الماء في ليبرة هواء (ملاحظة: 1 ليبرة من الماء يساوي 7000 قُطيرة ماء). وتُعبّر الجمعية الأميركية لمهندسي التدفئة والتبريد عن نسبة الرطوبة بالليبرة / الليبرة، إلا أن بعض مخططات قياسات رطوبة الماء تستعمل قُطيرات الماء.

5. نقطة الندى: نقطة الندى هي درجة الحرارة التي تبدأ عندها رطوبة الهواء، عندما يبرد، بالتكاثف أو تكوين قُطيرات أكبر من أن تستطيع البقاء معلقة في الهواء. ويحصل التكاثف على أي جسم درجة حرارة سطحه تساوي أو تقل عن درجة نقطة الندى.

6. المحتوى الحراري الكلي: هي الطاقة الحرارية الكلية الموجودة في الهواء. وهي تشتمل على حرارة الهواء، وعلى الحرارة اللازمة لتحويل الماء الموجود في الهواء من سائل إلى بخار، إضافة إلى الطاقة الحرارية الموجودة في بخار الماء نفسه. ويُقدّر المحتوى الحراري الكلي الموجود في الهواء بالوحدة الحرارية البريطانية لكل ليبرة من الهواء الجاف، في منظومة الوحدات العادية الأميركية، وبالجول للكيلوغرام من الهواء الجاف في منظومة الوحدات المترية.

7. الحجم النوعي: الحجم النوعي هو حجم الحيز الذي تُشغله ليبرة واحدة من الهواء الجاف عند الضغط الجوي المعياري (14.7 باسكال للإنش المربع)، ويُقدَّر بالقدم المكعَّب لليبرة من الهواء الجاف.

4.23 قراءة مخطط قياسات رطوبة الهواء⁴

صُمِّمَ مخطط رطوبة الهواء بحيث إنه إذا عُرفت خاصيتان من خواصه، أمكنت معرفة قيم الخواص الخمس الأخرى منه. وثمة مخططات مختلفة، ومن الشائع رؤية مخططات لدرجات حرارة عالية وعادية ومنخفضة. يُضاف إلى ذلك أن المخططات توضع لأغراض خاصة. ولاستكمال العمل في هذا المقطع، عليك الحصول على مخطط رطوبة الهواء عند درجات الحرارة العادية. **ملاحظة:** ليست سلالم قيم خواص الهواء المختلفة متماثلة، وعدد تدرجات كل منها مختلف. والإجراء الموصى به هو تدوير القيمة المعطاة إلى رقم عشري واحد.

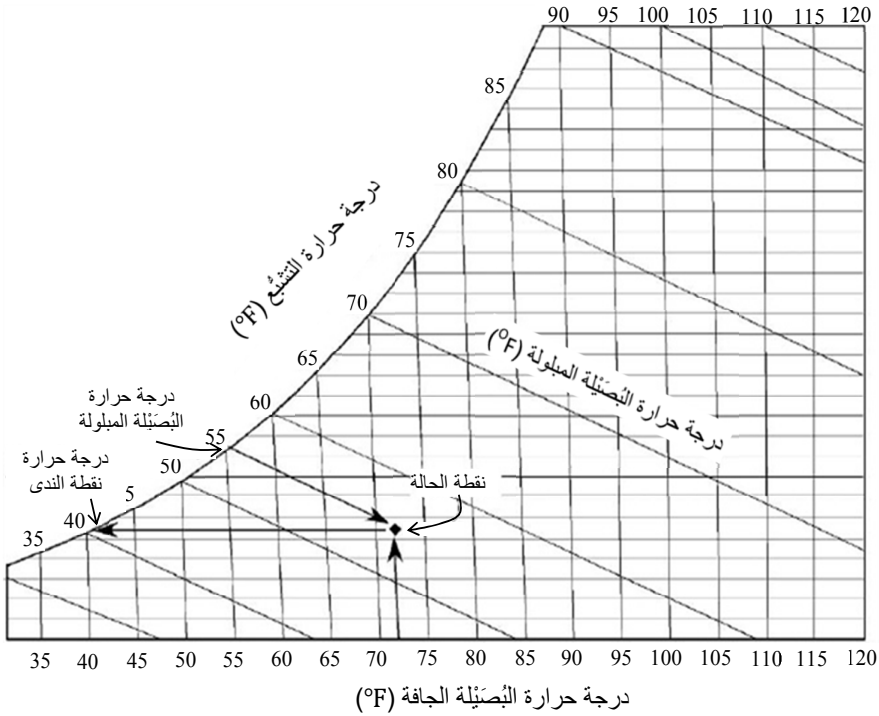
يتضمن مخطط رطوبة الهواء سلّمَ قيم وخطوطاً لكل خاصية. ولإيجاد قيم خواص الهواء، عليك تحديد ما يُسمى نقطة الحالة. ونقطة الحالة هي نقطة تلاقي خطي أي خاصيتين. انظر الشكل 1.23. وسوف نشرح في المقطع التالي كيفية تحديد مواقع خواص الهواء السبع على المخطط.

1.4.23 درجة حرارة البُصيلة الجافة

يتوضع سلم درجة حرارة البُصيلة الجافة على طول المحور الأفقي السفلي من المخطط. ونظراً إلى أن قياس درجة الحرارة هذا هو قياس أساسي، فإنه يكون

⁴ نستعمل في هذا المقطع المخطط رقم 1 الذي أعدته الجمعية الأميركية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers)، ويمكن الحصول عليه منها. وإذا استعمل مخطط آخر، فإنه يمكن للقيم أن تكون مختلفة.

معروفاً عادة. حدّد موقعه أولاً، ثم انتقل عمودياً عبر المخطط عند درجة حرارة معينة للبُصَيِّلة الجافة. وقد اختيرت درجة حرارة بُصَيِّلة جافة تساوي 72 درجة فهرنهايت في الشكل 1.23 مثلاً.



الشكل 1.23 سلالم تدريجات درجات حرارة البُصَيِّلة الجافة والبُصَيِّلة المبلولة والتشبع.

2.4.23 درجة حرارة البُصَيِّلة المبلولة

يتوضّع هذا السلم على طول الخط المنحني من المخطط حيث تنزل الخطوط إلى الأسفل واليمين. حدّد درجة حرارة معينة للبُصَيِّلة المبلولة، ثم اتبع الخط

نحو الأسفل واليمين حتى يلتقي مع خط خاصية أخرى معروفة، ومن أمثلته الخط العمودي لدرجة حرارة البُصيلة الجافة. انظر الشكل 1.23. من أجل درجة حرارة بُصيلة جافة معلومة تساوي 72، ودرجة حرارة بُصيلة مبلولة معروفة تساوي 56، فإن نقطة الحالة تقع في نقطة تلاقي هذين الخطين، وهي النقطة "♦" في الشكل 1.23. ملاحظة: إن خطوط البُصيلة المبلولة قريبة جداً من خطوط المحتوى الحراري، ولذا يمكن الخلط بينهما.

3.4.23 نقطة الندى

يُستعمل في نقطة الندى سلم درجة حرارة البُصيلة المبلولة نفسه، وخطوط سلم الرطوبة نفسها. ولتحديد موضع نقطة الندى، تحرّك أفقياً إلى اليسار من نقطة الحالة. تساوي درجة حرارة نقطة الندى في الشكل 1.23، على سبيل المثال، 41 درجة.

4.4.23 المحتوى الحراري الكلي

يمكن إيجاد سلم المحتوى الحراري الكلي باتباع خطوطه نحو الأعلى من نقطة الحالة إلى اليسار من سلم البُصيلة المبلولة. وتتطابق خطوط المحتوى الحراري الكلي وخطوط البُصيلة المبلولة تقريباً، وهذا يمكن أن يؤدي إلى أخطاء في قراءة المخطط، إلا أن ثمة سلمين مختلفين لهما. انظر الشكل 2.23.

5.4.23 الحجم النوعي

يتوضّع سلم الحجم النوعي على خطوط تصنع زاوية مع سلم درجة حرارة البُصيلة الجافة وإلى اليسار منها. وهي تبدأ بأقل من 12.5 قدم مكعب لليبرة

في الزاوية السفلى اليسرى وتترايد حتى أكثر من 15.0 قدم مكعب للبيرة في الزاوية اليمنى العليا من الشكل 2.23. والقيم معطاة على الخطوط.

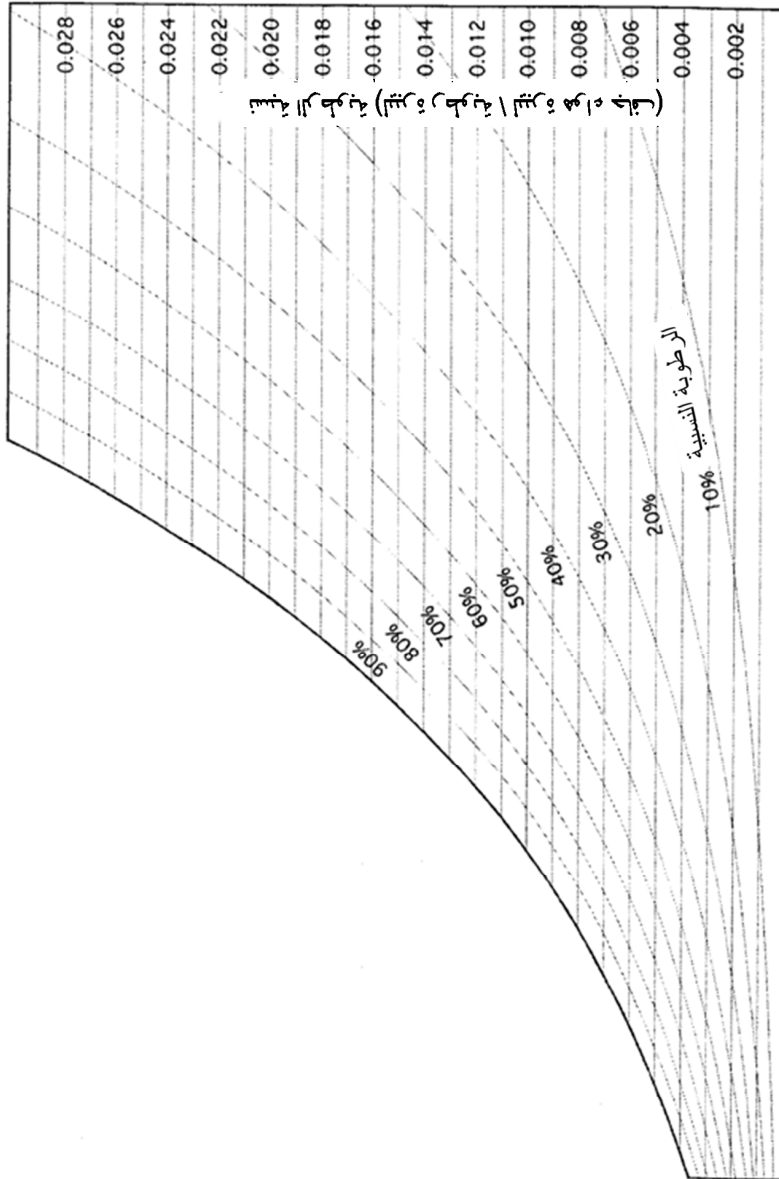
6.4.23 الرطوبة النسبية

تتبع خطوط الرطوبة النسبية الجانب المنحني من المخطط. وهي تتزايد من 10% على الخط الأقرب إلى سلم درجة حرارة البُصيلة الجافة، حتى 100% التي تمثل سلم البُصيلة المبلولة. لاحظ أن القيم (السلم) متوضعة على الخطوط، وليس على حافة المخطط. انظر الشكل 3.23.

7.4.23 نسبة الرطوبة

يتوضع سلم محتوى الرطوبة النسبية على الجانب الأيمن من المخطط. ولتحديد قيمة للرطوبة، تحرك أفقياً من نقطة الحالة إلى اليمين. انظر الشكل 3.23.

يحتوي مخطط قياسات الرطوبة الذي وضعته الجمعية الأميركية لمهندسي التدفئة والتبريد والتكييف، والمخططات المشابهة له كل السلالم السبعة معاً. ويمثل الشكل 4.23 مخططاً منخفض الدقة يمكن استعماله لأغراض تعلم استعمال قياسات رطوبة الهواء وحل الأمثلة، إلا أنه يجب استعمال مخطط الجمعية كلما كان ذلك ممكناً.



الشكل 3.23 الرطوبة النسبية ومحتوى الرطوبة.

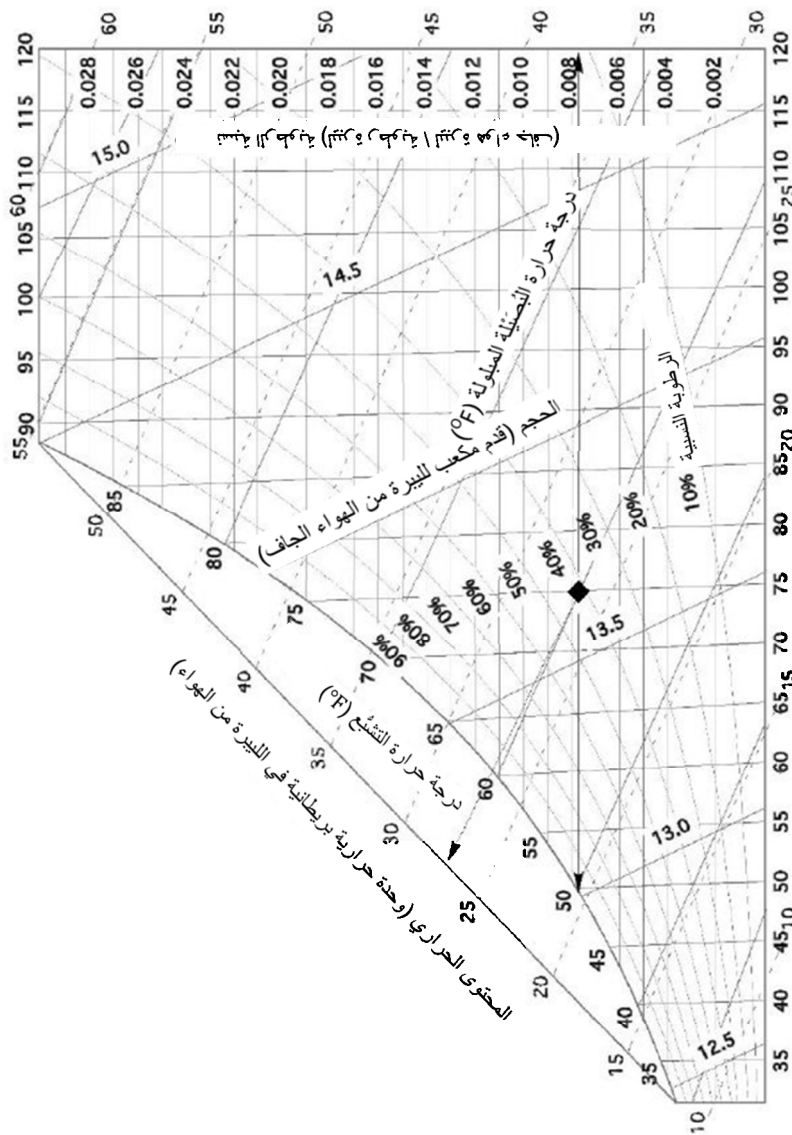
مسألة: ما مقادير الخواص الفيزيائية للهواء إذا كانت درجة حرارة البُصيلة الجافة تساوي 75 درجة فهرنهايت، وكانت درجة حرارة البُصيلة المبلولة تساوي 60 درجة فهرنهايت؟

الحل: نستعمل مخطط قياسات رطوبة الهواء المبين في الشكل 5.23 (ملاحظة: ليست جميع مخططات رطوبة الهواء متماثلة، بل ثمة فوارق صغيرة في القيم المدرجة في المخططات التي وضعتها هيئات مختلفة):

1. الخطوة الأولى هي تحديد نقطة الحالة. حدّد الخط العمودي الذي يمثّل درجة حرارة البُصيلة الجافة التي تساوي 75 درجة فهرنهايت. ثم حدّد الخط المائل لدرجة حرارة البُصيلة المبلولة التي تساوي 60 درجة. تمثّل نقطة تقاطع الخطين نقطة الحالة.
2. تقع نقطة الحالة فوق خط الرطوبة النسبية 40% قليلاً. لذا تكون قيمة الرطوبة النسبية بين 40% و 50%. ونظراً إلى عدم وجود أي خطوط أخرى بين هاتين القيمتين، تُقدّر هذه القيمة بـ 43%.
3. لتحديد نقطة الندى، تحرّك أفقياً نحو اليسار من نقطة الحالة إلى سَلَمِ البُصيلة المبلولة المنحني ونقطة الندى. والقيمة الناتجة نقل قليلاً عن 50 درجة فهرنهايت.
4. ولتحديد محتوى الرطوبة، تحرّك أفقياً إلى اليمين من نقطة الحالة إلى السَلَم العمودي. وعليه سوف تجد القيمة 0.0078 ليبرة من الماء لكل ليبرة من الهواء الجاف.
5. ويجري تحديد المحتوى الحراري الكلي بالتحرّك من نقطة الحالة على طول خط المحتوى الحراري إلى الأعلى واليسار (على نحو موازٍ للخطوط المقطّعة) حتى الوصول إلى سلم المحتوى الحراري الكلي

للـهواء. والقيمة التي سوف تجدها تساوي 27 وحدة حرارية بريطانية للـبيرة من الهواء.

6. يتحدّد الحجم النوعي بواسطة خطوط الحجم النوعي التي تتحدر على كل من جانبي نقطة الحالة، وهما الخطان 13.6 و 13.7 في هذه الحالة. وبناء على موقع نقطة الحالة وبعديها من الخطين يتبيّن أن القيمة التقريبية للحجم النوعي يساوي 13.6 قدم مكعب للـبيرة.



الشكل 5.23 مخطط قياسات رطوبة الهواء للمسالة الأولى.
درجة حرارة البصيلة الجافة (°F)

وتُستعمل مخططات رطوبة الهواء أيضاً لشرح التغيرات في خواص الهواء حينما يبرد أو يسخن، أو يُضاف إليه أو يُزال من ماء.

مسألة: ما مقدار قيم الخواص الفيزيائية للهواء في المسألة السابقة (درجة حرارة البُصيلة الجافة 75، درجة حرارة البُصيلة المبلولة 60) بعد تسخين الهواء حتى 90 درجة فهرنهايت؟

الحل: نحدّد أولاً اتجاه ومسافة التحرك من نقطة الحالة الأولى إلى نقطة الحالة الثانية. ونظراً إلى إضافة حرارة إلى الهواء في هذه الحالة مع عدم تغيير نسبة الرطوبة، تقع نقطة الحالة الثانية إلى اليمين من الأولى على طول خط الرطوبة الأفقي. تحرك يميناً حتى يتقاطع هذا الخط مع خط البُصيلة الجافة 90 درجة العمودي، ثم اقرأ قيم الخواص عند نقطة الحالة الثانية. انظر الشكل 6.23.

القيم الناتجة هي:

المحتوى الحراري = 30.0 وحدة حرارية بريطانية للبيرة.

الحجم النوعي = 14.05 قدماً مكعباً للبيرة.

الرطوبة النسبية = 27%.

نقطة الندى = 49 درجة فهرنهايت.

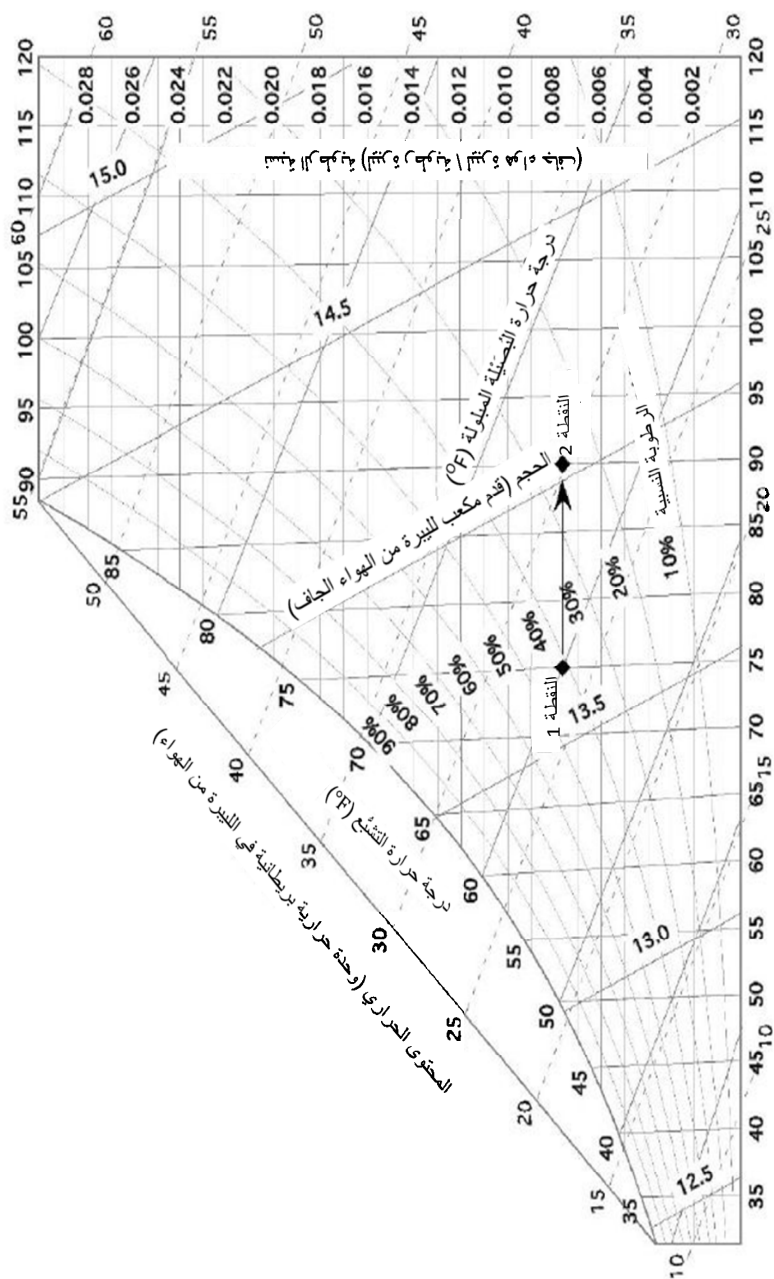
نسبة الرطوبة = 0.0076 لبيرة للبيرة.

درجة حرارة البُصيلة المبلولة = 65 درجة فهرنهايت.

قارن هذه النتائج بتلك التي في المسألة السابقة. حينما تفهم خواص الهواء المبيّنة في مخطط لقياسات رطوبة الهواء، سوف تتَمَكَّن من شرح سبب تغيُّر بعض تلك الخواص وعدم تغيُّر الخواص الأخرى.

5.23 التدفئة

تُستعمل التدفئة لتعديل البيئة الداخلية برفع درجة حرارة البُصَيِّلة الجافة، أو للتعويض عن ضياعات الحرارة من المبنى. ويعتمد مقدار التدفئة اللازمة على نوع استعمال المبنى (حظائر حيوانات أو مخازن محاصيل.. إلخ)، وعلى تدفق الحرارة منه إلى الخارج، والتهوية اللازمة ومصادر التسخين ضمن المبنى. وفيما يخص المباني التي تُستعمل لخزن المنتجات، ثمة حاجة إلى تهوية ضئيلة، أو قد لا تكون ثمة حاجة إليها. أما المباني المستعملة لحظائر للمواشي فتجب تهويتها لطرد الرطوبة التي تولِّدها الحيوانات من تنفسها، والغازات الضارة التي يمكن أن تتكوَّن في المبنى.



الشكل 6.23 مخطط قياسات رطوبة الهواء للمسألة الثانية.
 درجة حرارة التبريد الجافة (°F)
 ترجئة حرارة التبريد من الهواء الجاف

6.23 معدل التهوية

التهوية هي تحريك الهواء عبر المبنى. ويمكن لحركة الهواء أن تحصل بسبب الحمل الطبيعي أو الريح، أو بواسطة مراوح. وتُستعمل التهوية لطرد الرطوبة وتخفيض درجة الحرارة إذا كان الهواء في الخارج أبرد من الهواء الذي في الداخل، وللاستعاضة عن الغازات الداخلية بهواء خارجي. ويتحدد معدل التهوية الأصغري بأكثر أغراضها أهمية. وفيما يخص حظائر المواشي، إذا كان معدل التهوية كافياً لإزالة الرطوبة الزائدة، كان أكثر من كاف للأغراض الأخرى عادة.

سوف نستعمل في هذا المقطع إجراء يتضمن استعمال مخطط قياسات رطوبة الهواء لتقدير كمية التهوية اللازمة لطرد الرطوبة الزائدة من حظيرة مواش. أما فيما يخص المباني المستعملة لأغراض أخرى، فعليك تحديد الجانب البيئي الأكثر أهمية، وأن تُقيم حساباتك على ذلك العامل. ويتضمن الملحق 10 قيم الرطوبة والحرارة اللتين تطلقهما الحيوانات المختلفة، والحرارة المتولدة من التجهيزات الآلية.

حين إدخال هواء خارجي إلى المبنى، يجب توزيعه ضمنه توزيعاً متجانساً ومزجه مع هوائه على نحو يدرأ تكوّن تيارات هوائية. وإحدى الطرائق الشائعة لتحقيق ذلك هي إدخال الهواء عبر فتحات صغيرة موزعة ضمن كامل المبنى. وثمة طريقة أخرى هي استعمال مبادل حراري. وتُستعمل في المبادل الحراري حرارة الهواء المطرود لتدفئة الهواء الداخل، وبذلك يتقلص مفعول التبريد الناجم عن التيارات الهوائية، ويقل مقدار الحرارة اللازمة للتدفئة. وتختلف معدلات تدفق الهواء الفعلية اللازمة لحظائر الحيوانات باختلاف نوع الحيوان وحجمه،

ومنظومة إدارة المبنى، ونوع الأرضية وطريقة تصريف الماء، وعدد الحيوانات الموجودة في المبنى.

عندما تتبخر الرطوبة منطلقاً في الهواء تتغير خواصه الفيزيائية. ويمكن تحديد مقدار التغير بتحديد نقطتي الحالة لكل من الطرفين. وتوفر الفروق الرقمية في محتوى الرطوبة والمحتوى الحراري الكلي بين الطرفين معلومات لاستعمالها في تحديد مقدار الهواء والحرارة اللازمين لتبخير الرطوبة.

مسألة: ما مقدار الهواء والحرارة اللازم لتبخير 2.0 ليبرة من الماء في الساعة ضمن مبنى درجة حرارة الهواء الداخلية فيه تساوي 55 درجة فهرنهايت (بُصيلة جافة) و 48 درجة فهرنهايت (بُصيلة مبلولة)، ودرجتا حرارة الهواء الخارجي المقابلتان تساويان 40 و 35 درجة فهرنهايت؟

الحل: سوف نستعمل في هذه المسألة قيم خمس من خواص الهواء لظرفي هواء مختلفين. إن إنشاء جدول مثل الجدول 1.23 مفيد جداً ويوصى به لحل مسائل من هذا النوع.

الجدول 1.23 بيانات قياسات رطوبة الهواء لمسألة التهوية.

الخاصية	في الداخل	في الخارج	الفرق
بُصيلة جافة (°F)	55	40	
بُصيلة مبلولة (°F)	48	35	
رطوبة (lb H ₂ O/lb of air)	0.0054	0.0028	0.0026
محتوى حراري (BTU/lb)	19.00	13.0	6.0
حجم نوعي (ft ³ /lb of air)	13.1	12.65	

نستعمل أولاً مخطط رطوبة الهواء لإيجاد قيم نسبة الرطوبة والمحتوى الحراري الكلي والحجم النوعي للهواء في الداخل والخارج، ونسجلها في الجدول 1.23. **ملاحظة:** القيم مشتقة من الشكل 4.23، وهي مختلفة قليلاً عن القيم الموجودة في مخطط الجمعية الأميركية لمهندسي التدفئة والتبريد والتكييف الذي يجب أن يُستعمل، هو أو ما يشابهه، لحل المسائل الحقيقية.

الخطوة الثانية هي تحديد فرقَي الرطوبة النسبية والمحتوى الحراري الكلي بين الداخل والخارج. وهاتان القيمتان مدرجتان في الجدول 1.23. أما فروق درجات الحرارة فلا حاجة إليها هنا.

والخطوة الثالثة هي تحديد كمية الهواء، مقدَّرة بالليبرة، اللازمة لطرد الرطوبة. وتتحدَّد كمية الهواء اللازمة لتبخير الرطوبة من الفرق بين قيمتي الرطوبة في الداخل والخارج. يعني الفرق المساوي لـ 0.0026 ليبرة ماء في الليبرة من الهواء أن كل ليبرة في الهواء الخارجي يجري إدخالها ورفع خواصها إلى الظروف الداخلية قادرة على امتصاص كمية أعظمية من الرطوبة تساوي 0.0026 ليبرة. وإذا امتصت كل ليبرة من الهواء الكمية الأعظمية من الماء، أي 0.0026 ليبرة، وكانت كمية الماء التي تجب إزالتها تساوي 2.0 ليبرة في الساعة، كانت كمية الهواء اللازمة:

$$\text{air} \left(\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right) = \frac{1 \text{ lb air}}{0.0026 \text{ lb water}} \times \frac{2.0 \text{ lb}}{1 \text{ hr}} = 769.23 \dots \text{or } 770 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

عند هذه الظروف الداخلية والخارجية، ثمة حاجة إلى إدخال 770 ليبرة في الساعة من الهواء الخارجي إلى المبنى لإزالة 2.0 ليبرة من الرطوبة في الساعة، بافتراض أن الهواء يمتص الكمية العظمى من الماء.

وقبل أن يمتص الهواء الماء السائل، يجب أن يتبخّر الماء أولاً، وهذا يتطلب تسخيناً. يُضاف إلى ذلك أنه إذا كان داخل المبنى أدفأ من الخارج، فإن التهوية تؤدي إلى ضياع حرارة المبنى. وتتحدّد كمية الحرارة المفقودة باستعمال الفرق بين المحتوى الحراري للهواء في الداخل والمحتوى الحراري للهواء في الخارج. يساوي المحتوى الحراري للهواء في الداخل 19.0 وحدة حرارية بريطانية لليبرة، ويساوي المحتوى الحراري للهواء في الخارج 13.0 وحدة حرارية بريطانية لليبرة، فيكون الفرق 6.0 وحدات حرارية بريطانية. وهذه الكمية من الحرارة سوف تضيع مع كل ليبرة من الهواء المطرود إلى الخارج بالتهوية. وقد وجدنا أن ثمة حاجة إلى تغيير 770 ليبرة من الهواء في الساعة لطرد الرطوبة المتولّدة في المبنى. لذا يساوي الفقد الحراري الناجم عن التهوية:

$$\text{Loss} \left(\frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \right) = 770 \frac{\text{lb air}}{\text{hr}} \times \frac{6.0 \text{ BTU}}{1 \text{ lb air}} = 4,620 \text{ or } 4,600 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

ضمن هذه الظروف، سوف تنقل تهوية المبنى 4,600 وحدة حرارية بريطانية في الساعة إلى الخارج.

وتُصنع مراوح التهوية عادة بمقاسات محدّدة تقدّر بالقدم المكعب في الدقيقة. وهذا يتطلب تحويل وحدات الوزن إلى وحدات حجم. ويُجرى هذا التحويل باستعمال قيم الحجم النوعي الواردة في مخطط رطوبة الهواء. وعندما تشفط

مروحة التهوية الهواء من المبنى (وهذه أكثر الحالات شيوعاً)، يُستعمل حينئذ الحجم النوعي للهواء الداخلي. وإذا كانت المروحة تدفع الهواء من الخارج إلى الداخل، استُعمل الحجم النوعي للهواء الخارجي. ونظراً إلى أن معدل دخول أو خروج الهواء يساوي 770 ليبرة في الساعة لتبخير الرطوبة المتولدة ضمن المبنى، فإن حجم الهواء، مقدراً بالقدم المكعب في الساعة يتحدّد بضرب 770 ليبرة في الساعة بالحجم النوعي للهواء:

$$V_{\text{Fan}} \left(\frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} \right) = 770 \frac{\text{lb air}}{\text{hr}} \times 13.1 \frac{\text{ft}^3}{1 \text{ lb air}} = 10,087 \text{ or } 10,000 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}}$$

ثمة حاجة إلى مروحة، أو مراوح عدة، ذات مقدرة على التهوية تساوي 10,000 قدم مكعب في الساعة لتوفير تهوية كافية لطرد الرطوبة الزائدة من المبنى.

تُعتبر القيم المحسوبة في المسألة السابقة دقيقة ما دامت الظروف الداخلية والخارجية المفترضة ثابتة من دون تغيير. وهذا يحصل لمدة قصيرة فقط، لأن درجة حرارة الخارج تتغيّر باستمرار، ويتغيّر معدّل تنفس الحيوانات مع تغيّر نشاطها، ويحصل تبادل حراري أيضاً بسبب التوصيل والحمل والإشعاع. لذا يجب أن تكون منظومات التدفئة والتهوية والتبريد قادرة على الاستجابة للتغيّرات، وأن تكون قادرة على التعامل مع أكثر الحالات الداخلية والخارجية تطرفاً بغية الحفاظ على بيئة داخلية ثابتة.

7.23 موازنة حرارة المبنى

تُستعمل مبادئ التدفئة والتهوية وتكييف الهواء جميعاً لتحديد مقادير التهوية والتدفئة أو تكييف الهواء اللازمة للحفاظ على درجة حرارة معينة داخل المبنى. وعملية تحديد التغيرات التي تحصل في بيئة داخل المبنى تسمى موازنة الحرارة. ويُعبّر عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$\pm \text{Heat} \left(\frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \right) = \text{Total heat gain (H}_G\text{)} - \text{Total heat loss (H}_L\text{)}$$

حيث $(\pm \text{Heat})$ هي موازنة الحرارة، و (Total Heat Gain) هو الريح الحراري الكلي، و heat loss Total هو الفقد الحراري الكلي.

ثمة ثلاثة أجوبة يمكن أن تنتج من معادلة موازنة الحرارة. (1) الريح الحراري أكبر من الفقد الحراري، أي إن موازنة الحرارة تكون موجبة "+"، وتزداد درجة حرارة المبنى في هذه الحالة. (2) الريح الحراري يساوي الفقد الحراري، ويساوي جواب معادلة الموازنة الصفر، وتبقى درجة الحرارة داخل المبنى ثابتة. (3) الفقد الحراري أكبر من الريح الحراري، وتكون حينئذ موازنة الحرارة سالبة "-" وتتخفض درجة الحرارة داخل المبنى.

والعوامل الأربعة اللازمة لتحديد الريح والفقد الحراريين هي: حرارة التجهيزات الآلية، وحرارة الحيوانات، والتدفق الحراري، والتهوية. وتضيف الحيوانات والتجهيزات الآلية، التي من قبيل المحركات الكهربائية ومصابيح التسخين، حرارة إلى بيئة المبنى الداخلية. وتتدفق الحرارة من الأماكن ذات درجة الحرارة العالية إلى تلك ذات الدرجة المنخفضة. ويُستعمل مصطلح التدفق الحراري

لوصف انتقال الحرارة عبر مكونات المبنى. وقد نوقشت التهوية ومفاعيلها في البيئة في المقطع السابق.

وتؤدي هذه العوامل عادة إلى ربح أو فقد الحرارة تبعاً للفصل من السنة ولدرجات حرارة الجو. ولتحقيق توازن حراري في الشتاء، يساوي الربح الحراري مجموع حرارة الحيوانات والتجهيزات الآلية، وتتجم الضياعات الحرارية عن التدفق الحراري والتهوية:

$$\pm \text{Heat}_w = (\text{Animal heat} + \text{Mechanical heat}) - (\text{Heat flow} + \text{Ventilation})$$

حيث $\pm \text{Heat}_w$ هي موازنة الحرارة في الشتاء. وفي الصيف، يساوي الربح الحراري مجموع حرارة الحيوانات وحرارة الآلات الآلية والتدفق الحراري:

$$\pm \text{Heat}_s = (\text{Animal heat} + \text{Mechanical heat} + \text{Heat flow}) - (\text{Ventilation})$$

حيث $\pm \text{Heat}_s$ هي موازنة الحرارة في الصيف. وتوضّح المسألة التالية إجراءات حساب موازنة حرارة مبنى في الشتاء. **ملاحظة:** أهملت مفاعيل الإشعاع في هذه الحسابات.

مسألة: حدّد موازنة الحرارة في أثناء النهار، مقدّرة بوحدة الحرارة البريطانية في الساعة، لبنية بعدها يساويان 30.0 قدماً و 60.0 قدماً، ويساوي ارتفاع جدرانها 8.0 أقدام، وتؤوي مئتي شاة مسمّنة وزن الواحدة منها يساوي 150.0 ليبرة. ويوجد للمبنى بابان من الصنوبر بُعدا كل منهما 3.0 أقدام و 6.6 أقدام، بسماكة تساوي 1.0 إنش. ويوجد فيها أيضاً عشر نوافذ وحيدة اللوح الزجاجي بُعدا كل منها يساويان 24.0 إنشاً و 42.0 إنشاً. والجدران مبنية من لبنات خرسانة خفيفة سماكة الواحدة منها تساوي 8.0 إنشات، وهي محشوة بالبرليت

الخفيف الوزن. والسقف مكوّن من طبقة خشبية سماكتها تساوي $3/8$ إنش مع ألياف عازلة منخفضة الكثافة سماكتها 6.0 إنشات بين الجوائز. وتتضمن التجهيزات 9 مصابيح متوهجة استطاعة الواحد منها تساوي 100 واط، وتعمل 10 ساعات في اليوم، ومحركيّ ناقل حلزوني استطاعة كل منهما تساوي $1/3$ حصان بخاري ويعملان 30 دقيقة في اليوم، وعشر مراوح سقفية استطاعة الواحدة منها تساوي $1/4$ حصان بخاري وتعمل خمس ساعات في اليوم. والحيّز الموجود فوق السقف جيد التهوية ودرجة حرارته تساوي درجة حرارة الهواء الخارجي. ويقوم المبنى على بلاطة خرسانية معزولة. وتساوي درجة حرارة البُصَيّلة الجافة 70 درجة فهرنهايت، وتساوي درجة حرارة البُصَيّلة المبلولة 60 درجة فهرنهايت، وذلك في الخارج، وتساوي نظيرتهما في الداخل 40 و 34 درجة فهرنهايت.

الحل: ثمة حاجة إلى قيمتين لتحديد الموازنة الحرارية هما الفقد الحراري الكلي والريح الحراري الكلي. ابدأ بتحديد الفقد الحراري الكلي. يساوي الفقد الحراري الكلي في ظروف الشتاء مفاوئد التدفق الحراري إلى الخارج والتهوية.

الفقد الحراري: تُستعمل معادلة التدفق الحراري الواردة في الفصل السابق لتحديد التدفق الحراري الكلي الخارج من المبنى أو الداخل إليه. ويُحدّد التدفق الحراري الكلي بحساب وجمع التدفق الحراري عبر كل مكوّن من مكوّنات المبنى ذي قيمة لـ R خاصة به. تشتمل قيم R المختلفة في هذه المسألة على القيم الخاصة بالجدران والنوافذ والأبواب والسقف والأرضية. ويمكن تقليص الأخطاء بإنشاء جدول للمعلومات المطلوبة. ونظرا إلى أن التدفق الحراري تابع للمساحة و فرق درجة الحرارة والمقاومة الحرارية، يجب أن يتضمن الجدول أعمدة لهذه العوامل. انظر الجدول 2.23. يُضاف إلى ذلك أن من المفيد رسم

المكوّنات على غرار المثال في الفصل 22. إلا أننا لم نستعمل رسماً في هذا المثال لأن كل مكوّن من مكوّنات المبنى يتألف من عدد صغير من الأجزاء. باستعمال معادلة التدفق الحراري:

$$Q = \frac{A \times \Delta T}{R}$$

حيث Q هو التدفق الحراري مقدراً بالوحدة الحرارية البريطانية في الساعة، و A هي المساحة، مقدّرة بالقدم المربع، ولها قيمة R نفسها و ΔT هو الفرق بين درجتَي حرارة الداخل والخارج مقدّرة بالدرجة فهرنهايت، و R هي مقاومة مكوّن المبنى الحرارية.

الجدول 2.23 حل مسألة التدفق الحراري عبر مكوّنات المبنى.

المكوّن	قيمة R الكلية	المساحة (ft^2)	$\Delta T(^{\circ}\text{F})$	$Q(\text{BTU/hr})$
الجدران (من دون الفتحات)	7.65	1330	30	5215.68
النوافذ	0.91	70	30	2307.69
الأبواب	1.85	40	30	648.64
السقف	20.32	1800	30	2657.48
الأرضية	2.22	*180	30	2432.43
التدفق الحراري الكلي (Q_T) = 13,261.93				

* استُعمل محيط البلاطة، مقدّراً بالقدم، بدلاً من مساحتها.

نظراً إلى أن فرق درجة الحرارة يساوي 30 درجة فهرنهايت، فإن الفقد الحراري الكلي يساوي 13,262 وحدة حرارية بريطانية في الساعة. وقد حُسِبَ هذا الرقم على النحو التالي:

قيم R:	
الجدار:	
0.17	غشاء الهواء الخارجي
6.8	لبنات الخرسانة، والفجوات المحشوة
0.68	غشاء الهواء الداخلي
7.65	قيمة R الكلية للجدار
النوافذ:	
0.17	غشاء الهواء الخارجي
0.06	زجاج وحيد الطبقة
0.68	غشاء الهواء الداخلي
0.91	قيمة R الكلية للنوافذ
الباب:	
0.17	غشاء الهواء الخارجي
1.00	الخشب
0.68	غشاء الهواء الداخلي
1.85	قيمة R الكلية للبواب
السقف:	
0.68	غشاء الهواء الداخلي
19.00	العزل (ألياف سماكتها 6 إنش)
0.47	طبقة خشبية
20.32	قيمة R الكلية للسقف
الأرضية:	
2.22	خرسانة معزولة

المساحات:

المساحة = (مساحة الجدارين الأمامي والخلفي + مساحة الجدارين
الجانبين) - (مساحة النوافذ + مساحة البابين)

$$A(\text{ft}^2) = [(8.00 \text{ ft} \times 30.0 \text{ ft} \times 2) + (8.00 \text{ ft} \times 60.0 \text{ ft} \times 2)] - (70.0 \text{ ft}^2 + 40.0 \text{ ft}^2)$$

الجدران:

$$A(\text{ft}^2) = 1,440 \text{ ft}^2 - 110 \text{ ft}^2 = 1,330 \text{ ft}^2$$

المساحة = العرض × الارتفاع × عدد النوافذ

النوافذ:

$$A(\text{ft}^2) = [(24.0 \text{ in} \times 42) \times 10] \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2}$$
$$= 70 \text{ ft}^2$$

المساحة = العرض × الارتفاع × عدد الأبواب

الأبواب:

$$A(\text{ft}^2) = 3.0 \text{ ft} \times 6.6 \text{ ft} \times 2$$
$$= 39.6 \text{ or } 40 \text{ ft}^2$$

السقف:

المساحة = العرض × الطول

$$A(\text{ft}^2) = 60.0 \text{ ft} \times 30.0 \text{ ft} = 1,800 \text{ ft}^2$$

الأرضية:

المحيط = العرض × 2 + الطول × 2

$$\begin{aligned} \text{Perimeter}(\text{ft}) &= (60.0 \times 2) + (30.0 \times 2) \\ &= 180 \text{ ft} \end{aligned}$$

تدفق الحرارة عبر المبنى:

$$\begin{aligned} Q_T &= Q_{\text{wall}} + Q_{\text{window}} + Q_{\text{door}} + Q_{\text{ceiling}} + Q_{\text{floor}} \\ &= \frac{1330 \times 30.0}{7.65} + \frac{70.0 \times 30.0}{0.91} + \frac{40.0 \times 30.0}{1.85} + \frac{1800 \times 30.0}{20.32} \\ &\quad + \frac{180 \times 30.0}{2.22} \\ &= 5,215.68 + 2,307.69 + 648.64 + 2,657.48 + 2,432.43 \\ &= 13,261.92 \dots \text{ or } 13,300 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

هذه موازنة حرارة شتوية، ولذا تكون التهوية سبب فقد الحرارة. ويتحدّد هذا
الفقد بمعدّل التهوية اللازم لإزالة الرطوبة الزائدة من المبنى وبالفارق بين درجتي
حرارة الهواء في الداخل والخارج. ويجب استعمال جدول لترتيب بيانات رطوبة
الهواء. انظر الجدول 3.23.

الجدول 3.23 بيانات قياسات رطوبة الهواء للمسألة.

الخاصية	في الداخل	في الخارج	الفرق
بُصَيِّلَة جافة (°F)	70	40	
بُصَيِّلَة مبلولة (°F)	60	34	
رطوبة (lb/lb)	0.0088	0.0026	0.0062
محتوى حراري (BTU/lb)	26.0	12.5	13.5
حجم نوعي (ft ³ /lb)	13.6	12.6	

يُستعمل المبنى في هذه المسألة لإيواء ماشية. لذا فإن معدل التهوية يتحدّد بكمية بخار الماء التي تُنتجها الحيوانات. يحتوي الملحق 10 على قيم يمكن استعمالها لتقدير كمية الحرارة والرطوبة اللتين تولّدهما الحيوانات المختلفة، وهي تقوم على الوزن والنوع.

ولتحديد معدل التهوية، ابدأ بإيجاد كمية الماء المتحرّرة في المبنى. تولّد بقرة وزنها 150 ليبرة 0.219 ليبرة من الرطوبة في الساعة. انظر الملحق 10. لذا تكون كمية الماء الكلية الناتجة:

$$H_2O \left(\frac{lb}{hr} \right) = \frac{0.219 \frac{lb H_2O}{hr}}{Cows} \times 200 \text{ cows} = 43.8 \frac{lb H_2O}{hr}$$

حدّد بعدئذ كمية الهواء اللازمة لطرد 43.8 ليبرة ماء في الساعة. ويتحقّق ذلك بضرب كمية الماء التي يمكن لكل ليبرة من الهواء امتصاصها حين عبورها المبنى بكمية الماء التي تجب إزالتها. وإذا افترضنا أن الهواء يكون مشبعاً 100% بالرطوبة حينما يخرج من المبنى، فإن كمية الماء التي سوف يحملها الهواء معه تتحدّد حينئذ بالفرق بين قيمتي رطوبة الهواء في الداخل

والخارج. من الجدول 3.23 يتبين أن هذه القيمة تساوي 0.0062 ليبرة ماء لكل ليبرة هواء جاف. حينئذ، تساوي كمية الهواء اللازمة:

$$\text{air} \left(\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right) = \frac{1 \text{ lb air}}{0.0062 \text{ lb water}} \times \frac{43.8 \text{ lb water}}{\text{hr}} \frac{\text{lb air}}{\text{lb air}} \\ = 7,064.51 \dots \text{ or } 7,060 \frac{\text{lb air}}{\text{hr}}$$

بعد أن أصبح معدل التهوية معلوماً الآن، يمكن حساب الفقد الحراري الناجم عن التهوية. ويتحقق ذلك بضرب كمية الهواء التي سوف تعبر المبنى، مقدرة بالليبرة في الساعة، بالفرق بين كميتي حرارة الهواء الداخلي والخارجي. من الجدول 3.23، تساوي هذه القيمة 13.5 وحدة حرارية بريطانية لكل ليبرة من الهواء. وبذلك يكون الفقد الحراري الناجم عن التهوية:

$$\text{heat loss}_{\text{ven}} \left(\frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \right) = 7060 \frac{\text{lb air}}{\text{hr}} \times 13.5 \frac{\text{BTU}}{\text{lb air}} \\ = 95,310 \text{ or } 95,300 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

وينتج معدل الفقد الحراري الكلي بجمع معدلي فقد التهوية والتدفق الحراري:

معدل الفقد الحراري الكلي = معدل الفقد الناجم عن التدفق الحراري + الفقد الناجم عن التهوية

$$\text{Total loss} \left(\frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \right) = 13,300 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 95,300 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \\ = 108,600 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

الريـح الحراري: حدّد بعدئذ الريـح الحراري الكلي. مصادر الحرارة هي حرارة التجهيزات الآلية والحرارة التي تولّدها الحيوانات. انظر الملحق 10.

$$\text{الريـح الحراري} = \text{حرارة التجهيزات الآلية} + \text{حرارة الحيوانات}$$

التجهيزات الآلية:

$$\text{حرارة التجهيزات} = \text{حرارة المصابيح} + \text{حرارة المحركات}$$

$$\begin{aligned} \text{Lights Heat} &= 9 \text{ lights} \times 100 \frac{\text{watt}}{\text{light}} \times 3.4 \frac{\text{BTU}}{\text{watt} - \text{hr}} \\ &= 3060 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Motors Heat} &= \left(2 \text{ motors} \times 0.33 \frac{\text{hp}}{\text{motor}} \right) \\ &\quad + \left(10 \text{ motors} \times 0.25 \frac{\text{hp}}{\text{motor}} \right) \\ &= \left(0.66 \frac{\text{hp} - \text{hr}}{\text{day}} + 2.5 \frac{\text{hp} - \text{hr}}{\text{day}} \right) \\ &\quad \times 4,000 \frac{\text{BTU}}{\text{hp} - \text{hr}} \end{aligned}$$

$$= 3.16 \frac{\text{hp} - \text{hr}}{\text{day}} \times 4,000 \frac{\text{BTU}}{\text{hp} - \text{hr}}$$

$$= 12,640 \frac{\text{BTU}}{\text{day}}$$

$$\begin{aligned}\text{Mechanical heat} &= 3,060 \frac{\text{BTU}}{\text{day}} + 12,640 \frac{\text{BTU}}{\text{day}} \\ &= 15,700 \frac{\text{BTU}}{\text{day}}\end{aligned}$$

حرارة الحيوانات:

$$\begin{aligned}\text{Animal heat} \left(\frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \right) &= \frac{354 \text{ BTU}}{\text{hr}} \times 200 \text{ cows} \\ &= 70,800 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}\end{aligned}$$

الربح الحراري الكلي:

$$\begin{aligned}\text{Heat gain} &= 15,700 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 70,800 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \\ &= 86,500 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}\end{aligned}$$

موازنة الحرارة: أصبحت جميع المعلومات اللازمة لاستكمال حساب موازنة الحرارة جاهزة:

موازنة الحرارة = الربح الحراري الكلي - الفقد الحراري الكلي

$$\begin{aligned}\pm \text{Heat} \left(\frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \right) &= \text{Total heat gain} - \text{Total heat loss} \\ &= 86,500 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} - 108,600 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = -22,100 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}\end{aligned}$$

تشير موازنة الحرارة السالبة إلى أن الريح الحراري في المبنى أقل من كمية الحرارة التي يفقدها. وعندما يحصل ذلك، تنخفض درجة الحرارة داخل المبنى إذا لم يُدْفَأ. وفي هذه المسألة، ثمة حاجة إلى 22100 وحدة حرارية بريطانية كل ساعة للحفاظ على درجة حرارة ثابتة داخل المبنى. **ملاحظة:** تتصف بيئات حظائر الحيوانات بأنها منظومات متغيرة، والريح والفقد الحراريان ليسا ثابتين البتة. وفي هذه المسألة، حُسبت موازنة الحرارة بافتراض عمل محركات الناقل الحلزوني والمراوح. لكن محركي الناقل الحلزوني يعملان 30 دقيقة في اليوم فقط. فماذا تصبح موازنة الحرارة إذا جرى إيقافهما عن العمل؟ وما هو مفعول إيقاف بعض مراوح السقف عن العمل، أو حصول تسرب من أحد صنادير السقاية؟

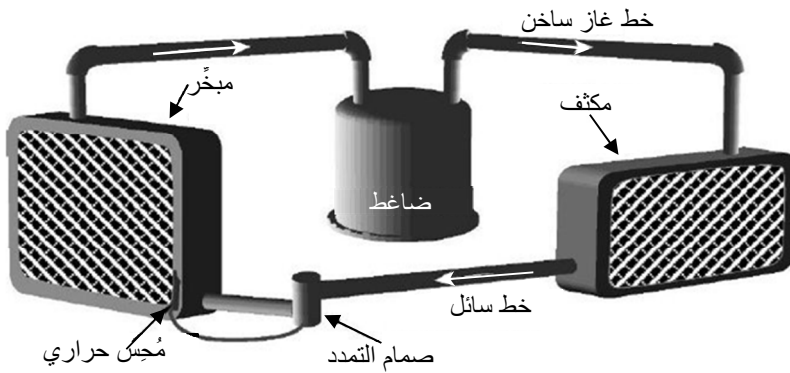
8.23 تكييف الهواء

قد لا تكون التهوية كافية في بعض أنواع المباني للحفاظ على درجة الحرارة الأمثلية. فكمية الحرارة التي تولدها الحيوانات ومعالجة المنتجات ودرجات الحرارة الخارجية وغيرها قد تتجاوز مقدرة نظام التهوية على الحفاظ على درجة الحرارة المرغوب فيها. وفي هذه الحالات، تُستعمل مكيفات الهواء.

تاريخياً، استُعملت نظم كثيرة متنوعة لتكييف الهواء. فقد استُعملت تقنيات الجليد، وضخ ماء الآبار البارد عبر مشعات، والتبريد بالتبخير، وسحب الهواء عبر أنابيب تحت الأرض. لكن كفاءة تلك الطرائق كانت محدودة. فاستعمال الجليد يُولّد مقادير كبيرة من التبريد، إلا أنه يجب التخلص من الماء الناتج، ويجب توفير إمداد مستمر بالجليد. ومقدار التبريد المتوقّر من ماء الآبار

محدود، أما التبريد بالتبخير فهو فعال فقط إذا كان الهواء الخارجي منخفض الرطوبة نسبياً.

أما اليوم، فيُقصد بتكييف الهواء استعمال التبريد الآلي. والتبريد هو عملية نقل الحرارة من مادة إلى أخرى، وفي حالة تكييف الهواء، ينقل التبريد الحرارة من الهواء في داخل البنية إلى الهواء خارجها. وكي يحصل ذلك، يجب أن يتماس الهواء الذي سوف يُبرّد مع مادة درجة حرارتها أخفض من درجة حرارته. وعندما يحصل ذلك، تتدفق الحرارة إلى المادة التي هي أبرد. ويُستعمل في بعض مكيفات الهواء سطح معدني مبرّد يوفر كتلة باردة، في حين أن مكيفات أخرى تتفتت ماء مبرّداً. وتنتقل الحرارة بواسطة مادة تدور بين الهواء الداخلي والهواء الخارجي. وفي المكيفات الصغيرة، يُستعمل غاز بوصفه مادة لنقل الحرارة، وفي المكيفات الكبيرة، يمكن لمادة نقل الحرارة أن تكون سائلاً. يُري الشكل 7.23 المكونات الأساسية لمنظومة تبريد آلية.



الشكل 7.23 منظومة تبريد آلية.

في نظم التبريد الآلية، تُزال الحرارة بضغط مادة التبريد، وهي غاز الفريون عادة، وتسييلها وتمديدتها وتبخيرها على نحو متكرر. يرفع الضاغط ضغط ودرجة حرارة مادة التبريد حين ضغطها. وعندما تمر تلك المادة عبر المكثف، تنتقل الحرارة التي تمتصها حين مرورها عبر المبخر، والحرارة الناتجة عن الضغط، إلى الهواء. لذا يوضع المكثف في الخارج حيث يمتص الهواء الخارجي الذي يمر عبره الحرارة مؤدياً إلى تحوّل مادة التبريد إلى سائل. وعندما تمر مادة التبريد السائلة عبر صمام التمدد إلى المبخر، ينخفض ضغطها ويمتص المبرد حرارة من الهواء المحيط بالمبخر. ولذا يوضع المبخر داخل مجرى هواء أو في مكان آخر حيث يمكن للهواء أن يمر عبره ويبرد، مؤدياً إلى تبخر مادة التبريد. وتعود المادة الغازية الساخنة المنخفضة الضغط إلى الضاغط لتبدأ الدورة من جديد. ويُنظم صمام التمدد ومُحس الحرارة تدفق مادة التبريد لتحقيق درجة حرارة المبخر المرغوب فيها.

من الشائع أن يُخفّض تكييف الهواء الآلي درجة حرارة الهواء ما بين 20 و 30 درجة فهرنهايت، أي إلى ما دون درجة حرارة نقطة الندى. وهذا هو سبب أن مكيفات المباني والسيارة تُخرج ماء حين عملها. وتُمكن استنتاج ذلك من مخطط قياسات رطوبة الهواء.

مسألة: ما مقدار الماء الذي يُزال لتكوين لييرة هواء جاف عندما يُبرّد هواء عند درجة حرارة بُصيلة جافة تساوي 95 فهرنهايت ورطوبة نسبية تساوي 70% إلى درجة حرارة بُصيلة جافة تساوي 75 درجة فهرنهايت؟

الحل: الحل مبين على المخطط في الشكل 8.23. حدّد موقع نقطة الحالة الأولية على المخطط. يُخفّض التبريد درجة حرارة البُصيلة الجافة، لذا تحرك

نحو اليسار إلى الدرجة 75. وعندما يبرد الهواء، تزداد رطوبته النسبية، وفي هذا المثال، يحصل الوصول إلى نقطة التشبع قبل 75 درجة. في هذه الحالة، اتبع خط التشبع نزولاً حتى 75 درجة. وهذه هي نقطة الحالة الثانية. ومقدار الماء الذي يُزال يساوي الفرق بين نسبتي الرطوبة في نقطتي الحالة:

$$\begin{aligned} \text{removed H}_2\text{O} & \left(\frac{\text{lb H}_2\text{O}}{\text{lb dry air}} \right) \\ &= 0.0254 \frac{\text{lb H}_2\text{O}}{\text{lb dry air}} - 0.019 \frac{\text{lb H}_2\text{O}}{\text{lb dry air}} \\ &= 0.0064 \frac{\text{lb H}_2\text{O}}{\text{lb dry air}} \end{aligned}$$

ما زال التبريد التبخيري مفيداً لخفض درجة حرارة الهواء في المناخات ذات الرطوبة النسبية المنخفضة. يسحب المبرّد التبخيري الهواء الخارجي عبر وسادة مبلولة مصنوعة من مادة مسامية. وعندما يمر الهواء عبر الوسادة تؤدي حرارة الهواء إلى تبخير الماء فتتخفض درجة حرارته وتزداد الرطوبة النسبية. ويبيّن الشكل 9.23 عناصر نافذة أو وحدة محمولة. وتتألف المنظومات الكبيرة المستعملة في البيوت الزجاجية والمنشآت الأخرى من مكوّنات مشابهة. ويمكن إيضاح مبادئ التبريد التبخيري باستعمال مخططات قياسات رطوبة الهواء.

مسألة: حدّد مقدار التخفيض في درجة حرارة الهواء عند درجة حرارة بُصيلة جافة تساوي 100 درجة فهرنهايت ورطوبة نسبية تساوي 40% بعد عبوره وسادة تبخير ويصبح مشبعاً بمقدار 90%.

الحل: يُرى الشكل 10.23 الحل على مخطط قياسات رطوبة الهواء. ابدأ بتحديد موقع نقطة الحالة الأولى. في التبريد التبخيري يتحوّل الماء من سائل

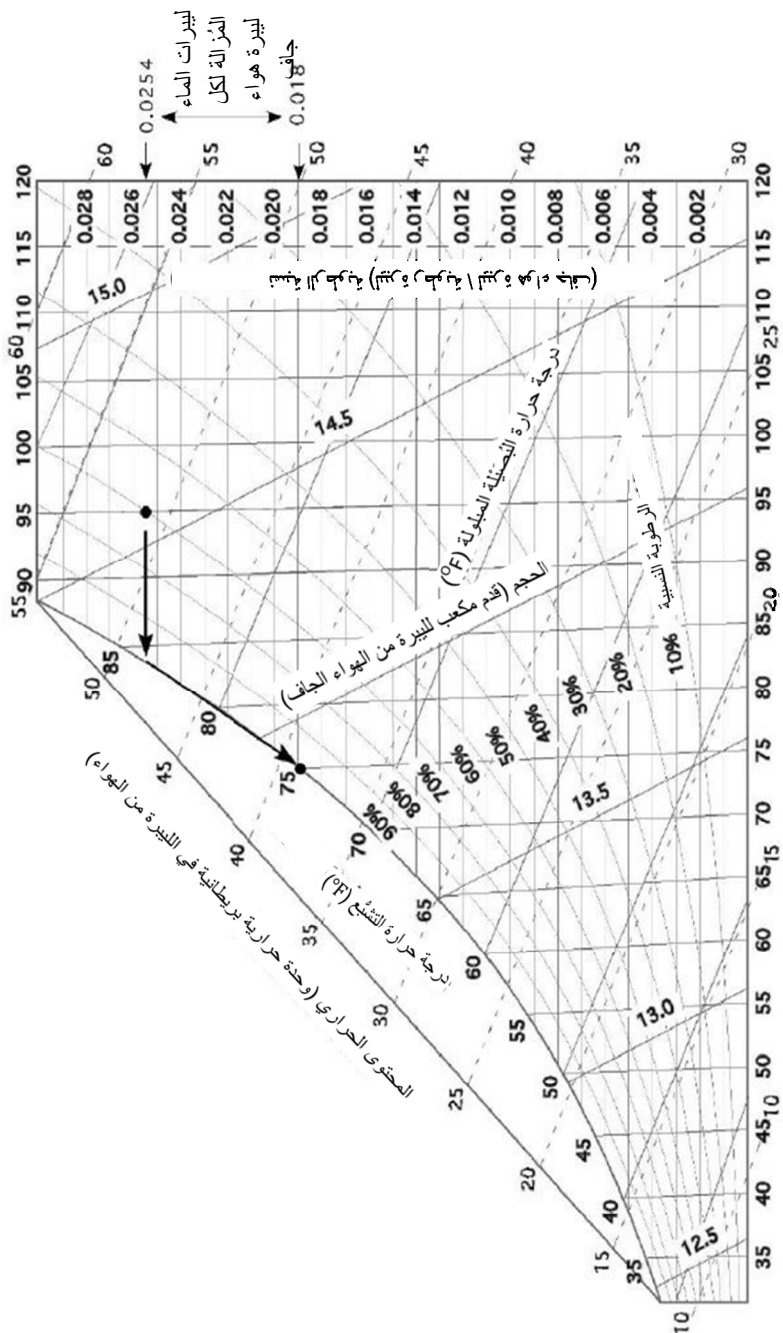
إلى بخار. وهذا يتطلب حرارة. وتُسحب الحرارة اللازمة للتبخير من الهواء، وهذا يخفض درجة حرارة البُصيلة الجافة. ويُمتل انخفاض درجة حرارة البُصيلة الجافة بالحركة أفقياً نحو اليسار من نقطة الحالة رقم 1. إلا أن التبريد التبخيري يُضيف أيضاً بخار ماء إلى الهواء. وتُمثل إضافة بخار الماء إلى الهواء بالحركة عمودياً إلى الأعلى من نقطة الحالة رقم 2. والنتيجة هي مسألة اتجاه الناقل. وأفضل تقدير لاتجاه الحركة باستعمال المخطط هو اتباع خط البُصيلة المبلولة نحو اليسار والأعلى حتى الوصول إلى نقطة الحالة رقم 2، حيث تساوي الرطوبة النسبية 90%. في هذا المثال، يُخفّض التبريد التبخيري درجة الحرارة من 100 درجة فهرنهايت إلى 81 درجة فهرنهايت، أي بمقدار 19 درجة فهرنهايت.

9.23 مسائل بالوحدات المترية

يُمثل بعض الوحدات المترية لقياسات رطوبة الهواء الوحدات العادية الأمريكية، وبعضها مختلف عنها. انظر الجدول 4.23 والشكل 11.23 قبل حل مسألة المثال.

الجدول 4.23 مقارنة بين الوحدات المترية والأميركية العادية في قياسات رطوبة الهواء.

الخاصية	الوحدة العادية	الوحدة المترية
رطوبة نسبية	%	%
حجم نوعي	ft ³ /lb	m ³ /kg
بُصيلة جافة	°F	°C
بُصيلة مبلولة	°F	°C
محتوى حراري	BTU/lb dry air	kJ/kg dry air
نقطة الندى	°F	°C
محتوى الرطوبة	lb H ₂ O /lb dry air	kg H ₂ O/kg dry air
الزمن	hr	hr



درجة حرارة البُصيلة الجافة (°F)

الشكل 8.23 حل مسألة تكييف الهواء.

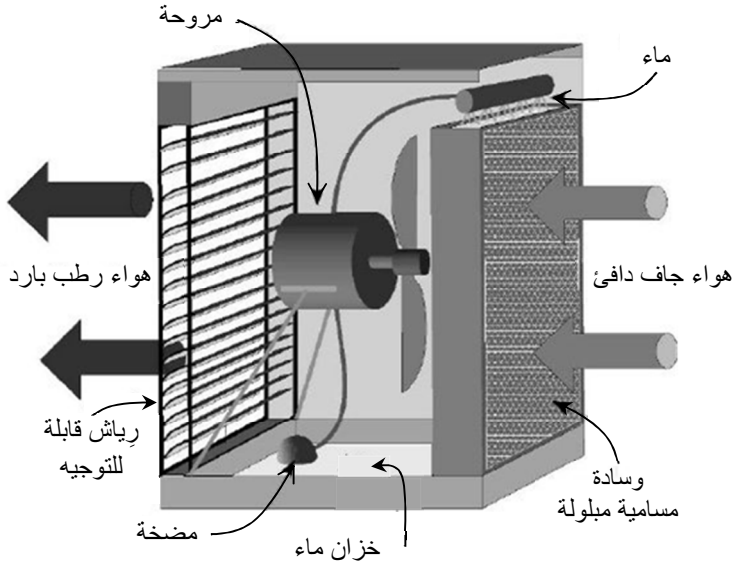
مسألة: حدّد مقاس المروحة اللازمة للتجفيف الطبيعي لمنتج وزنه يساوي 100.0 كيلوغرام بالهواء خلال 8 ساعات بحيث يُزال منه ماء وزنه 23.5 كيلوغراماً. تساوي درجة حرارة البُصيلة الجافة للهواء الخارجي 30 درجة مئوية، وتساوي درجة حرارة البُصيلة المبلولة له 20 درجة مئوية، وتساوي رطوبته النسبية 85%، وذلك حين مغادرته المجفّف.

الحل: يُحدّد مقاس المروحة بمقدرتها على تحريك الهواء، مقدّرة بالتر المكعب في الساعة. وتتحدّد كمية الهواء، التي تُقدّر بالتر المكعب، بكمية الماء التي تجب إزالتها وكمية الماء التي يمكن أن تُمتص بكل متر مكعب من الهواء. والخطوة الأولى هي إنشاء جدول بالمعلومات ذات الصلة. انظر الجدول 5.23 والشكل 12.23.

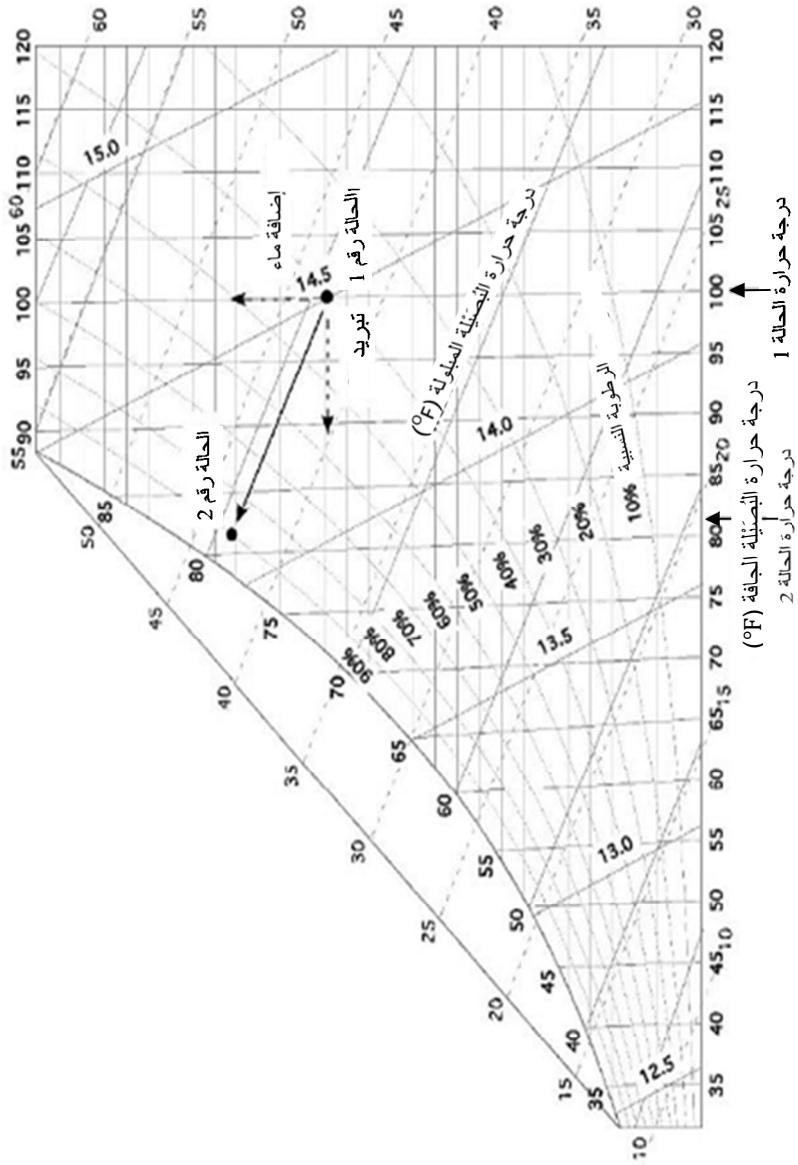
$$\begin{aligned} \text{fan capacity} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right) &= \frac{23.5 \text{ kg H}_2\text{O}}{8.0 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ kg air}}{0.0032 \text{ kg H}_2\text{O}} \\ &\times \frac{1 \text{ m}^3}{0.087 \text{ kg dry air}} \\ &= \frac{23.5}{0.0022} = 10,551.36 \dots \text{ or } 10,000 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \end{aligned}$$

الجدول 5.23 معلومات مسألة التجفيف.

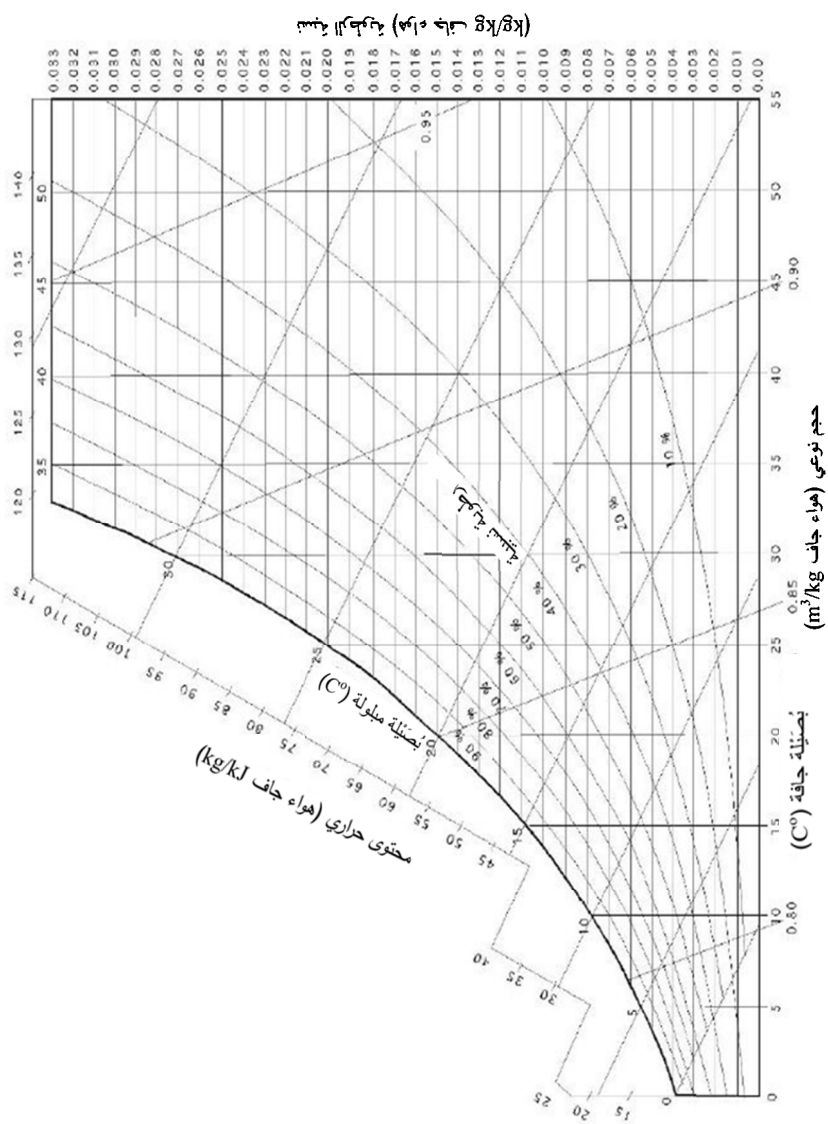
الفرق	القيمة النهائية	القيمة الأولية	الخاصية
		30	بُصيلة جافة (°C)
		20	بُصيلة مبلولة (°C)
0.0032	0.014	0.0108	محتوى الرطوبة (kg H ₂ O /kg air)
		0.087	الحجم النوعي (m ³ /kg dry air)



الشكل 9.23 مبرّد تبخيري.



الشكل 10.23 حل مسألة التبريد التبخيري.



الشكل 11.23 مخطط رطوبة الهواء بوحدات مترية.

انتقاء العناصر البنيوية

1.24 الأهداف

1. فهم أهمية مقاس العارضة.
2. التمكن من تحديد العوارض البسيطة الناتئة.
3. التمكن من حساب الحمل الأعظمي الذي يمكن للعارضة أن تحمله.
4. التمكن من حساب مقاس العارضة اللازم لارتكاز حمل عليه.

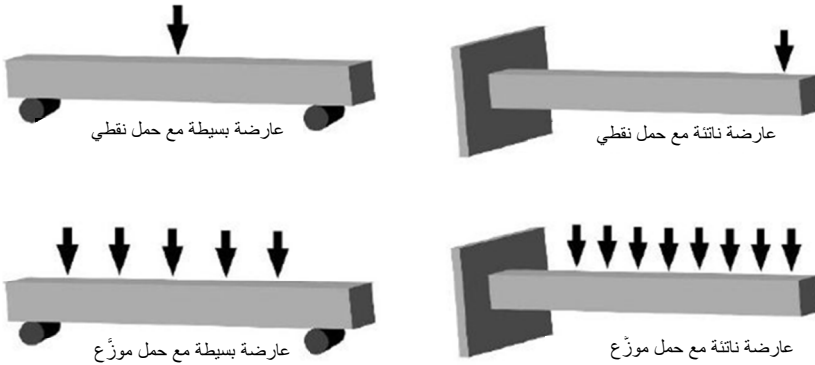
2.24 تقديم

العارضة هي عنصر أفقي يُستعمل لارتكاز جمل عليه. ويتضمن تصميم العناصر البنيوية لحمل معين تحليل القوى المطبقة عليها من ذلك الحمل وانتقاء المواد الملائمة لها وتحديد أشكالها ومقاساتها بحيث تتقبل الحمل. ويجري تنفيذ هذه العملية على أفضل وجه من قبل مهندس مدني، وهي خارج نطاق اهتماماتنا في هذا الكتاب. لكن عدم استعمال العارضة ذات المقاس الملائم قد يؤدي إلى عطبها وإلى ما قد يترتب على ذلك من مخاطر جسدية ومالية. لذا نقدّم هنا مفاهيم عدة أساسية لمساعدة القارئ على فهم خواص العوارض الخشبية البسيطة والناتئة ومقدرتها على التحميل.

3.24 العوارض البسيطة والناتئة

الجوائز البسيطة والناتئة هي عناصر بنيوية تُطبَّق عليها أحمال بزاوية قائمة مع محاورها الطولية. ويعتمد الحمل الذي يمكن لعارضة حمله على طول العارضة وطريقة الارتكاز عليها وتحميلها ومقاس مقطعها العرضي وشكلها ومثانة المواد المصنوعة منها.

ثمة أنواع كثيرة مختلفة من العوارض والأحمال في المباني والهياكل، إلا أننا لن ننظر في هذا الفصل إلا في نوعين فقط من كل من العوارض والأحمال. وهاتان العارضتان هما العارضة البسيطة والعارضة الناتئة، والحملان هما الحمل النقطي والحمل المتجانس التوزع. وترتكز العارضة البسيطة عند نهايتها على دعامات من دون وصلات جاسئة. أما العارضة الناتئة، أو العارضة البارزة، فتثبت على دعامة عند إحدى نهايتها، وتبقى نهايتها الأخرى حرة. انظر الشكل 1.24.



الشكل 1.24 نوعان من العوارض ونوعان من الحمل.

يمكن تطبيق الأحمال النقطية عند أي نقطة معينة على طول العارضة، إلا أن المعادلات المستعملة في هذا الفصل تنطبق على الأحمال النقطية المطبقة في منتصف العارضة البسيطة وعند نهاية العارضة النائئة. ويُشار إلى الحمل النقطي بسهم واحد. وتُطبّق الأحمال الموزعة على طول العارضة، ويُشار إليها بسلسلة من الأسهم.

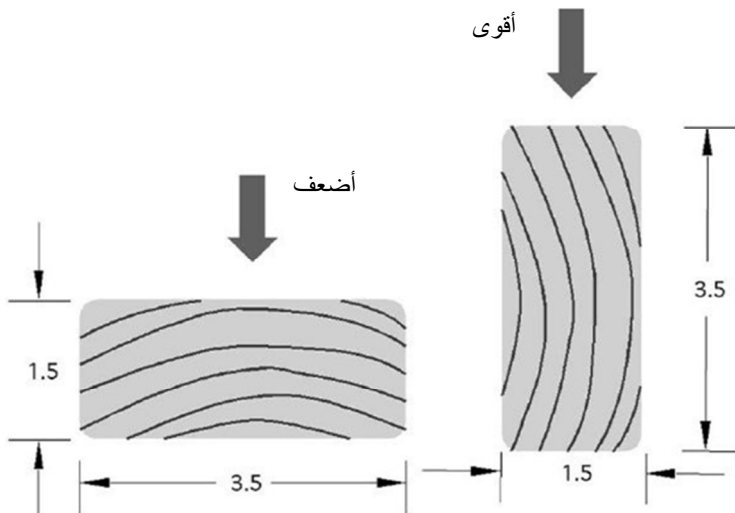
4.24 تحميل العارضة

حين تطبيق حمل على عارضة بسيطة، تتحني العارضة متحدبة إلى الأسفل. وعندما تتحدّب العارضة باتجاه الأسفل، تمتد الألياف الممتدة على طول سطحها السفلي (تصبح مشدودة)، وتتضغط الألياف على طول سطحها العلوي. إنه لمن الضروري أن نتذكّر أن العكس يكون صحيحاً في حالة العارضة النائئة التي تمتد ألياف سطحها العلوي وتتضغط ألياف سطحها السفلي، لأنه تحدّبها يكون إلى الأعلى.

ولدى امتطاط ألياف العارضة، يتكوّن إجهاد فيها. وحينما يزداد تحميل العارضة وامتطاط الألياف حتى نقطة خضوعها، يحصل تجاوز للإجهاد الأعظمي المسموح به فيها. وثمة تقديرات للإجهادات المسموح بها لمعظم المواد، ويتضمن الملحق 11 تلك التقديرات للخشب.

يؤثر شكل العارضة وطريقة توزيعها لتلقّي الحمل كثيراً في مقدرتها على الحمل. وتعطي طريقة نشر الألواح الشائعة ألواحاً منشورة على طول الألياف وعلى نحو متواز معها. انظر الشكل 2.24 الذي يبيّن أن العوارض المنشورة على طول الألياف تتحمّل أحمالاً أكبر حينما تكون قائمة على حافتها (الحمل

مواز للألياف) مما تتحمّلها حينما تكون منبسطة على جانبها (الحمل معامد للألياف).



الشكل 2.24 عندما يكون الحمل موازياً للبعد الأصغر (الخشب على جانبه) يكون التحميل أضعف منه عندما يكون الحمل معامداً للبعد الأصغر (الخشب واقف على حافته).

ويُستعمل بُعدا المقطع العرضاني للعارضة (عرضها وارتفاعها) لتحديد معامل المقطع الذي يوفر مؤشراً إلى صلابة العارضة النسبية، أو قدرته على التحميل.

يتحدد عامل مقطع العنصر البنوي ذي المقطع العرضاني المستطيل بواسطة المعادلة التالية:



$$K = \frac{1}{6} \times a \times b^2$$

حيث K هو معامل المقطع ويُقدَّر بالإنش المكعب، و a هو عرض المقطع الأفقي مقدراً بالإنش، و b هو ارتفاع المقطع العمودي مقدراً بالإنش.

5.24 مقاسات ألواح الخشب

تستعمل صناعة الألواح الخشبية نوعين من المقاسات هما المقاس الاسمي والمقاس الفعلي. والمقاس الاسمي هو مقاس اللوح بعد النشر. والمقاس الفعلي هو مقاس اللوح بعد إنهاء سطوحه. والإنهاء يُزيل مادة من اللوح، ولذا فإن المقاس الفعلي أصغر دائماً من المقاس الاسمي. انظر الجدول 1.24. وتُشتري ألواح الخشب على أساس المقاس الاسمي، إلا أن المقاس الفعلي هو الذي يُستعمل في حسابات العارضة. ويمكن استعمال صفة أخرى هي اللوح الخشن النشر أو غير المنهي. وحين حساب العارضة باستعمال ألواح خشنة النشر أو غير منهيّة، يكون المقاس الفعلي هو المقاس الاسمي.

الجدول 1.24 معاملات المقطع للعناصر ذات المقاطع العرضانية المستطيلة.

معامل المقطع تبعاً للوضعية (إنش مكعب)			
المقاس الاسمي (إنش)	المقاس الفعلي (إنش)	قائم على الحافة b	منبسط على الجانب a
			
2×2	1.5×1.5	0.56	0.56
3×2	2.5×1.5	1.56	0.94
4×2	3.5×1.5	3.06	1.31
6×2	5.5×1.5	7.56	2.06
8×2	7.5×1.5	13.14	2.72
10×2	9.25 ×1.5	21.39	3.47
12×2	11.25×1.5	31.64	4.22
14×2	13.25×1.5	43.89	4.97

مسألة: ما مقدار معامل المقطع لعارضة 4×2 قائمة على الحافة؟

الحل: يُحسب معامل المقطع وفقاً للمقاس الفعلي:

$$K = \frac{a \times b^2}{6} = \frac{1.5 \text{ in} \times (3.5 \text{ in})^2}{6} = 3.0625 \text{ or } 3.0$$

ولاختصار العمل الحسابي وإلغاء خطوة منه، يتضمن الجدول 1.24 قيماً لمعامل المقطع لمقاسات عدة شائعة لألواح خشب سماكتها تساوي 2 إنشين. لاحظ أن معامل المقطع 4×2 القائم على الحافة في الجدول 1.24 يساوي 3.06. ويتضمن الجدول أيضاً قيم المقطع لكل من المقاس الاسمي والمقاس الفعلي للوح الخشب. لكن معامل المقطع حُسب للمقاس الفعلي. ويتضمن الجدول أيضاً عمودين لوضعيتي المقطع الممكنتين، القائم على الحافة والمنبسط على الجانب. ولاحظ أيضاً أن قيم معامل المقطع تكون أكبر بكثير عندما تكون العارضة قائمة على الحافة، لأنه يكون حينئذ أكثر صلابة في تلك الوضعية.

يتحدد الوزن الذي يمكن للعارضة حمله بمعامل المقطع وإجهاد الألياف المسموح به وطول العارضة ونوع الحمل ونوع الارتكاز. وفيما يخص نوعي العارضة ونوعي التحميل موضوع الاهتمام في هذا الفصل، تنطبق المعادلات التالية:

$$W = \frac{4SK}{L} \quad \text{عارضة بسيطة، حمل نقطي:}$$

$$W = \frac{8SK}{L} \quad \text{عارضة بسيطة، حمل موزع:}$$

$$W = \frac{SK}{L} \quad \text{عارضة نائئة، حمل نقطي:}$$

$$W = \frac{2SK}{L} \quad \text{عارضة ناتئة، حمل موزَّع:}$$

حيث W هو الحمل الأعظمي المسموح به على العارضة مقدَّراً بالليبرة، و S هو إجهاد الألياف الأعظمي المسموح به مقدَّراً بالليبرة على الإنش المربع، و L هو طول العارضة مقدَّراً بالإنش، و K هو معامل المقطع مقدَّراً بالإنش المكعب.

مسألة: ما مقدار الحمل النقطي الأعظمي الذي يمكن أن يرتكز على منتصف عارضة بسيطة 6×4 خشن النشر (البُعدان هما بُعدا اللوح الفعليان) ويساوي طوله 120 إنشاً وإجهاد الألياف الأعظمي 1500 ليبرة للإنش المربع؟

الحل:

$$K = \frac{1}{6} \times a \times b^2 = \frac{1 \times 4 \text{ in} \times (6.0)^2}{6} = 24 \text{ in}^3$$

$$W = \frac{4SK}{L} = \frac{4 \times 1,500 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 24 \text{ in}^3}{120 \text{ in}} = 1,200 \text{ lb}$$

6.24 مقاس العارضة

أوضحنا في المقطع السابق طريقة تحديد مقدار الحمل الذي يمكن لعارضة أن تتحمَّله. وفي بعض الحالات، من الضروري تحديد مقاس العارضة اللازم لحمل حمل معين. ونُستعمل في ذلك المعادلات نفس بعد إعادة ترتيبها لحساب معامل المقطع. ولدى معرفة معامل المقطع، يمكن تحديد مقاس العارضة

باستعمال الجدول 1.24 إذا كان أحد البُعدين مساوياً 2 إنشين (مقاس اسمي)، وكان اتجاه توضُّعه معروفاً.

مسألة: ما أصغر مقاس لعارضة بسيطة سماكتها تساوي 2 إنشين وطولها يساوي 100 إنش مصنوعة من الصنوبر الجنوبي رقم 1 كي يحمل حملاً مورَّعاً مقداره 2400 ليبرة؟

الحل: باستعمال الجدول 1.24 والملحق 11، وبإعادة ترتيب المعادلة نحصل على:

$$W = \frac{8SK}{L}$$

$$K = \frac{WL}{8S} = \frac{2,400 \text{ lb} \times 100 \text{ in}}{8 \times 1000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}} = 30 \text{ in}^3$$

وبالعودة إلى الجدول 1.24، فإن أصغر مقاس لعارضة معامل مقطعها يساوي أو يزيد على 30 إنشاً مكعباً هو العارضة التي يساوي عرض مقطعها 2 إنشين ويساوي ارتفاعها 12 إنشاً. لاحظ أن العارضة 2×14 تؤدي الوظيفة أيضاً، إلا أنها أكبر من اللازم.

ليست الإجراءات التي قدَّمناها في المقطعين السابقين مقتصرة على العوارض التي تساوي سماكتها 2 إنشين. إذا كان معامل المقطع وأحد بُعديهِ معلومين، أمكن تحديد سماكة العارضة التي هي أكبر من 2 إنشين بعد إعادة ترتيب المعادلة.

مسألة: ما مقدار ارتفاع مقطع العارضة اللازم في المسألة السابقة إذا استُعملت عارضة سماكتها (عرض مقطعها) تساوي 4 إنشات؟

الحل: بإعادة ترتيب المعادلة نحصل على:

$$K = \frac{1}{6} \times a \times b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{K \times 6}{a}} = \sqrt{\frac{30 \text{ in}^3 \times 6}{4 \text{ in}^2}} = \sqrt{45} = 6.708 \dots \text{ or } 6.7 \text{ in}$$

يوضّح هذا المثال أن عارضة بُعْدًا مقطّعها يساويان 4 إنشات و 6.7 إنشات (مقاس فعلي) يمكن أن تحمل الحمل نفسه الذي تستطيع حمله العارضة 12×2 (مقاس اسمي).

7.24 مسائل بالوحدات المترية

تمثّل إجراءات حل المسائل بالوحدات المترية تلك المستعملة في حالة الوحدة العادية الأميركية. أما مقاسات العوارض الخشبية فتعطى بالسنتيمترات أو المليمترات، ويُقدَّر الإجهاد بالكيلو باسكال (kN/m^2 أو kPa). ولتحويل من الإجهاد المسموح به في الملحق 11 من وحدة الليبرة على الإنش المربع (psi (lb/in^2) إلى الكيلو باسكال، اضرب قيمة $S_{\text{customary}}$ ذات الوحدة العادية بـ 6.8947. انظر الجدول 2.24.

الجدول 2.24 مقاسات العوارض الخشبية بالوحدات المترية.

المقاس الاسمي (سنتيمتر)	المقاس الفعلي (سنتيمتر)
5.0 × 5.0	4.5 × 4.5
5.0 × 7.5	4.5 × 7.0
5.0 × 10.0	4.5 × 9.0
5.0 × 15.0	4.5 × 14.0
10.0 × 10.0	9.0 × 9.0
15.0 × 10.0	14.0 × 9.0

مسألة: ما مقدار الحمل النقطي الأعظمي الذي يمكن أن يركز على منتصف عارضة بسيطة خشنة النشر بالوضعية القائمة على الحافة، وبُعدها يساويان 15×19 سنتيمتراً (البعدان هما بعدا العارضة الفعليان) وطولها يساوي 3.0 أمتار، وهي مصنوعة من خشب صنوبر أصفر رقم 1؟

الحل: من الملحق 11، يساوي الإجهاد الأعظمي المسموح به 1000 ليبرة على الإنش المربع. حوّل أولاً هذه القيمة إلى وحدة مترية:

$$S_{SI} = 6.8947 \frac{\text{kPa}}{\text{lb/in}^2} \times S_{\text{Customary}}$$

$$S_{SI} = 6.8947 \frac{\text{kPa}}{\text{lb/in}^2} \times 1,000 \text{ lb/in}^2 = 6,894.7 \text{ kPa}$$

حيث SI تشير إلى الوحدة المترية و Customary تشير إلى الوحدة العادية.

$$K = \frac{1}{6} \times a \times b^2$$

$$= \frac{1 \times 10 \text{ cm} \times (15.0 \text{ cm})^2 \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10,000 \text{ cm}^2}}{6}$$

$$= \frac{0.00225}{6} = 0.000375 \text{ m}^3$$

$$W = \frac{4SK}{L} = \frac{4 \times 6,894.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0.000375 \text{ m}^3}{120 \text{ in} \times 0.0254 \frac{\text{m}}{\text{in}}}$$

$$= \frac{10.34205 \text{ kN} \cdot \text{m}}{3.048 \text{ m}} = 3.39306 \text{ or } 3.39 \text{ kN}$$

مسألة: حدّد الحمل الأعظمي الذي يمكن أن يرتكز على نهاية عارضة ناتئة مصقول بُعْدًا مقطّعها العرضاني يساويان 50×100 ميليمتراً وطوله يساوي 4.0 أمتار. تتخذ العارضة وضعية قائمة على الحافة، وهي مصنوعة من خشب الصنوبر الجنوبي رقم 2.

الحل: نحوّل أولاً وحدة الإجهاد المسموح به:

$$S_{SI} = 6.8947 \frac{\text{kPa}}{\text{lb/in}^2} \times S_{\text{Customary}}$$

$$= 6.8947 \frac{\text{kPa}}{\text{lb/in}^2} \times 825 \text{ lb/in}^2 = 5,688.1275 \text{ kPa}$$

ثم نحسب K و W :

$$K = \frac{1}{6} \times a \times b^2$$

$$= \frac{1 \times 4.5 \text{ cm} \times (9.0 \text{ cm})^2 \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10,000 \text{ cm}^2}}{6}$$

$$= 6.075 \text{ E} - 5 \text{ m}^3$$

$$W = \frac{SK}{L} = \frac{5,688.1275 \text{ kPa} \times 6.075 \text{ E} - 5 \text{ m}^3}{4.0 \text{ m}}$$

$$= \frac{0.3455 \dots}{4} = 0.086388 \dots \text{ or } 0.09 \text{ kPa}$$

25.

مبادئ الكهرباء

1.25 الأهداف

1. التمكن من تعريف الكهرباء.
2. التمكن من تعريف المصطلحات الكهربائية الأساسية.
3. فهم قانون أوم واستعماله.
4. التمكن من حساب الاستطاعة الكهربائية.
5. التمكن من حساب استهلاك الطاقة الكهربائية.

2.25 تقديم

يعتمد الإنتاج الزراعي كثيراً على الطاقة الكهربائية لتشغيل الآلات والأنوار والتجهيزات والوسائل المستعملة في إنتاج ومعالجة المنتجات الزراعية. ويمكن فهم مبادئ الكهرباء من استعمالٍ للكهرباء أعلى كفاءة ويقلل من المخاطر المقترنة بالعمل بها وفي محيطها.

3.25 الكهرباء

الكهرباء هي انتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى. ويعتقد العلماء بأنه جرت ملاحظة الكهرباء أول مرة عندما اكتشف القدماء التجاذب بين قضيب من الكهرمان والمواد الأخرى.

يبدأ فهم الكهرباء بفهم الذرة. تدور الإلكترونات في الذرة على مدارات حول نواة مؤلفة من بروتونات ونيوترونات. وعندما يكون عدد إلكترونات الذرة مساوياً لعدد بروتوناتها، تكون عديمة الشحنة الكهربائية. وعندما تحتوي على عدد من الإلكترونات أكبر من عدد البروتونات، تكون ذات شحنة سالبة، وعندما يكون عدد الإلكترونات أقل من عدد البروتونات تكون ذات شحنة موجبة. وعندما تنتقل الإلكترونات من ذرة إلى أخرى، ينشأ تيار كهربائي.

يمكن توليد جريان للإلكترونات بطرائق مختلفة منها الاحتكاك والحرارة والضوء والضغط والتفاعل الكيميائي والمغناطيسية. والطريقتان الأخيرتان تُستعملان غالباً في الزراعة.

4.25 المصطلحات الكهربائية

بغية فهم الكهرباء وطريقة عملها، من الضروري فهم المصطلحات الكهربائية الشائعة وتعريفها.

التيار: التيار هو حركة الإلكترونات عبر ناقل كهربائي. ويتحدد مقدار التيار المار في الناقل بالجهد الكهربائي (الفولطية) المطبق على طرفيه مقسوماً على مقاومة الناقل الكهربائية.

التيار المتناوب AC: هو واحد من نوعين اثنين من التيار الكهربائي، ويتصف بقطبية وجهد متغيرين غير ثابتين. في التيار المتناوب، يتزايد الجهد الكهربائي حتى يصل إلى قيمة عظمى موجبة، ثم يتناقص إلى الصفر، ويستمر في تناقصه حتى الوصول إلى قيمة عظمى سالبة، ثم يتزايد إلى الصفر مكرراً دورته. انظر الشكل 1.25. تسمى سلسلة التغيرات هذه دورة

التيار الكهربائي المتناوب. وفي الولايات المتحدة، تتكرر تلك الدورة 60 مرة في الثانية.

التيار المستمر DC: يجري هذا التيار باتجاه واحد فقط وبجهد ثابت. انظر الشكل 2.25. وتكون قطبيته إما موجبة أو سالبة.

الأمبير: هو وحدة قياس التيار الكهربائي الذي يجري في دارة. يساوي الأمبير الواحد 6.28×10^{18} إلكترون في الثانية.

الدارة الكهربائية: مسار متواصل للتيار الكهربائي من المنبع إلى الحمل (آلة أو أداة تعمل بالكهرباء)، ومنه إلى المنبع ثانية.

الناقل (الموصل) الكهربائي: أي مادة تسمح للإلكترونات بالجريان فيها بسهولة من ذرة إلى أخرى. ويتصف معظم المعادن بأنه من النواقل الجيدة.

العازل الكهربائي: كل مادة ذات مقاومة كبيرة لجريان الكهرباء. لا تسمح هذه المواد بالحركة السهلة للإلكترونات من ذرة إلى أخرى، ومن أمثلتها الزجاج والمطاط وكثير من أنواع البلاستيك.

المقاومة الكهربائية: خاصية المادة التي تعيق مرور التيار الكهربائي فيها. وتتصف جميع المواد بقيم مختلفة للمقاومة الكهربائية، وثمة خاصيتان مهمتان لها: (1) عندما تمر الكهرباء عبر مادة مقاومة، تتولد حرارة، (2) كلما ازدادت الكهرباء المارة عبر مادة مقاومة، ازداد الجهد الكهربائي على طرفيها. وتُقدّر المقاومة بالأوم ويُرمز إليها بالرمز اليوناني أوميغا Ω .

الجهد (الفولطية): هو القوة المحركة الكهربائية التي تدفع الإلكترونات إلى الحركة عبر الناقل. ويُعبّر الجهد عن الكمون المقترن بالتيار الكهربائي.

ويمكن لفرق الكمون أن يوجد بين شيئين من دون مرور تيار بينهما. ويساوي الجهدان القياسيان المعتمدان في الولايات المتحدة 120 فولط و 240 فولط.

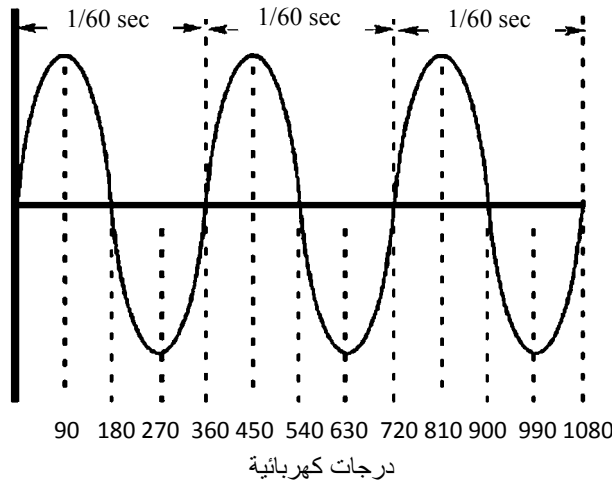
الواط: وحدة الاستطاعة الكهربائية، وهي تتحدّد بجداء الجهد بالتيار.

قانون أوم: يعبر قانون أوم عن العلاقة بين التيار والجهد والمقاومة، وينص على أن الجهد في دائرة كهربائية يساوي جداء التيار المار فيها في مقاومتها:

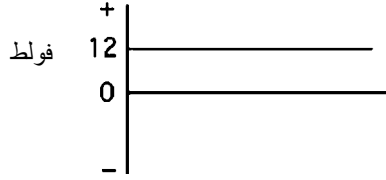
$$E = IR$$

حيث E هو الجهد الكهربائي مقدراً بالفولط، و I هو التيار مقدراً بالأمبير، و R هي المقاومة مقدرة بالأوم. ومن الشائع إعادة ترتيب المعادلة لحساب التيار والمقاومة أيضاً:

$$I = \frac{E}{R} \text{ و } R = \frac{E}{I}$$



الشكل 1.25 ثلاثة أدوار كاملة من تيار متناوب تردده يساوي 60 هرتس.



الشكل 2.25 تيار مستمر ذو جهد يساوي 12 فولط.

مسألة: ما مقدار التيار المار في الدارة عندما يساوي جهد المنبع الكهربائي 120 فولط وتحتوي الدارة على مقاومة مقدارها 20.0 أوم؟

الحل:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120 \text{ V}}{20.0 \Omega} = 6.0 \text{ amp}$$

5.25 الاستطاعة الكهربائية

بالتعريف، الاستطاعة هي معدل إنجاز عمل من وحدة الوقت. وفي الكهرباء، يُنجز عمل بانتقال الإلكترونات ضمن ناقل، وهو نتيجة لمفعول الجهد الكهربائي المقدر بالفولط، ومعدل جريان الإلكترونات المقدر بالأمبير. أي إن الاستطاعة في الدارة الكهربائية هي جداء الجهد في التيار، ووحدتها الأساسية هي الواط الذي يساوي فولط × أمبير:

$$P = E \times I$$

حيث P هي الاستطاعة مقدرة بالواط، و E هو الجهد الكهربائي مقدراً بالفولط، و I هو التيار مقدراً بالأمبير.

مسألة: ما مقدار الاستطاعة الناتجة من مرور تيار مقداره 5.0 أمبير عند جهد يساوي 120.0 فولط؟

$$P = E \times I = 120 \text{ V} \times 5 \text{ amp} = 600 \text{ Walt}$$

ويمكن التعبير عن الاستطاعة أيضاً بطريقتين أخريين. ينص قانون أوم على أن $E = IR$ ، والاستطاعة تساوي $P = E \times I$. لذا يمكن التعويض عن E في معادلة الاستطاعة بـ IR من قانون أوم:

$$P = IR \times I \quad \text{أو} \quad P = I^2 R$$

وينص قانون أوم أيضاً على أن $I = \frac{E}{R}$. لذا:

$$P = E \times \frac{E}{R} \quad \text{أو} \quad P = \frac{E^2}{R}$$

لاحظ أن استعمال أيٍّ من هاتين المعادلتين يتطلب معرفة قيمة المقاومة. وعندما تكون المقاومة معروفة مع إحدى القيمتين الأخرتين، يمكن حساب الاستطاعة.

6.25 الطاقة الكهربائية

تختلف الطاقة الكهربائية عن الاستطاعة الكهربائية لأنها تتضمن عنصر الزمن. فمقدار الطاقة الكهربائية التي يحصل توليدها أو استهلاكها يساوي جداء الاستطاعة الكهربائية، المقدرة بالواط، بالمدة الزمنية التي تتدفق الكهرباء خلالها. ويُعبّر عن النتيجة بوحدة الطاقة الكهربائية وهي الواط في الساعة. وفي استعمالات كثيرة للكهرباء، تكون قيمة الطاقة الكهربائية المقدرة بالواط-الساعة عدداً كبيراً، ولذا اعتمدت شركات توليد وتوزيع الطاقة الكهربائية وحدة

أكثر ملاءمة هي الكيلو واط-ساعة لتكون وحدة الطاقة الكهربائية الأساسية. يساوي الكيلو واط الساعي الواحد 1000 واط. ويمكن تحديد مقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة بالمعادلتين التاليتين:

$$EE(Whr) = P(W) \times T(hr)$$

$$EE(kWh) = P(W) \times T(hr) \times \frac{1 \text{ kWhr}}{1,000 \text{ Whr}}$$

حيث EE هي الطاقة الكهربائية مقدرة بالواط- ساعة أو الكيلو واط-ساعة، و P هي الاستطاعة مقدرة بالواط، و T هي مدة الاستهلاك مقدرة بالساعة.

مسألة: ما مقدار الطاقة الكهربائية، مقدرة بالواط-ساعة، اللازمة لتشغيل مصباح كهربائي استطاعته 150 واط مدة 3.5 ساعة؟

الحل:

$$EE = P \times T = 150 \text{ W} \times 3.5 \text{ hr} = 525 \text{ Wh}$$

وحين تقديرها بالكيلو واط-ساعة، تساوي:

$$EE(kWh) = 525 \text{ Wh} \times \frac{1 \text{ kWhr}}{1,000 \text{ Whr}} = 0.525 \text{ kWhr}$$

وتُستعمل الطاقة الكهربائية أيضاً لتحديد تكلفة استهلاك الكهرباء. إنه لمن الشائع لدى شركات توليد وتوزيع الكهرباء أن تتبع الكهرباء على أساس السنت للكيلو واط-ساعة (في الولايات المتحدة). وعندما تكون تعرفه الكهرباء، مقدرة بالسنت للكيلو واط-ساعة، وكمية الكهرباء، مقدرة بالكيلو واط-ساعة،

معلوماتين، يمكن تحديد تكلفة تشغيل أداة كهربائية. وفي المثال التالي نستعمل طريقة حذف الوحدات لحساب التكلفة.

مسألة: ما مقدار تكلفة تشغيل المصباح الكهربائي المذكور في المسألة السابقة عندما تساوي تعرفه الكهرباء 10 سنت للكيلو واط-ساعة؟

الحل: باستعمال حذف الوحدات:

$$\text{Cost (cents)} = 0.525 \text{ kWhr} \times \frac{10 \text{ cents}}{\text{kWhr}} = 5.25 \text{ cents}$$

تساوي تكلفة تشغيل مصباح كهربائي استطاعته 150 واط مدة 3.5 ساعة 5.25 سنت على أساس التعرفة التي تساوي 10 سنت للكيلو واط-ساعة.

7.25 الحسابات المترية والعادية الأميركية

من الواضح من الأمثلة السابقة أن الحسابات الكهربائية قد أُجريت باستعمال الوحدات المترية. لكن إذا كانت وحدة الاستطاعة حصاناً بخارياً، استعمل ثابت التحويل: $1 \text{ hp} = 0.743 \text{ kW}$ ، وتابع الحل باستعمال الوحدات المترية.

26.

الدارات الكهربائية التسلسلية والمتوازية

1.26 الأهداف

2. التمكن من تحديد الدارات التسلسلية والمتوازية.
3. التمكن من تحديد المقاومة الكلية للدارات التسلسلية والمتوازية.
4. التمكن من وصل مقياس جهد وتيار ومقاومة مع الدارة الكهربائية على نحو صحيح.
5. التمكن من تحديد التيار والجهد الكهربائيين في أي نقطة من دارة تسلسلية أو متوازية.
6. شرح أهمية تأريض نظام وجهاز كهربائيين.

2.26 تقديم

الغرض من الدارات الكهربائية هو توفير الكهرباء إلى الأدوات والوسائل وغيرها من التجهيزات الكهربائية. وتسمى تلك التجهيزات بالأحمال الكهربائية. وقبل أن يعمل الحمل، يجب أن يكون ثمة مسار كامل من المنبع إليه، ثم رجوعاً إلى المنبع. ويسمى هذا المسار بالدارة، وثمة نوعان شائعان من الدارات

الكهربائية التي تُستعمل في تقديم الطاقة الكهربائية، هما الدارة التسلسلية والدارة المتوازية.

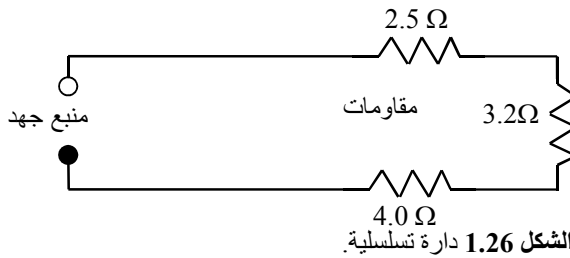
سوف نستقصي في هذا الفصل بعض مبادئ الدارات المتوازية والتسلسلية وكيفية حساب تيارات وجهود تلك الدارات.

3.26 الدارات التسلسلية والمتوازية

سوف نشرح في المناقشة التالية الفروق بين نوعين من الدارات وكيفية حساب المقاومة الكلية للدارة. **ملاحظة:** للمساعدة على فهم المناقشة التالية للدارات، افترض أن نواقل الدارة عديمة المقاومة.

1.3.26 الدارة التسلسلية

لا توجد في الدارة التسلسلية خيارات لمسارات التيار، وكل الكهرباء يجب أن تمر عبر جميع مكونات الدارة. انظر الشكل 1.26.



كي تخرج الكهرباء من المنبع وتعود إليه يجب أن تمر عبر جميع الأحمال، أي المقاومات. وفي الدارة التسلسلية، تساوي المقاومة الكلية للدارة مجموع المقاومات المتسلسلة:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_N$$

أما وحدة المقاومة فهي الأوم (Ω). وفي دارة الشكل 1.26، تساوي المقاومة الكلية:

$$R_T = 2.5 \Omega + 3.2 \Omega + 4.0 \Omega = 9.7 \Omega$$

ويُحدَّد التيار الكلي الذي يمر في الدارة بتقسيم جهد المنبع على مقاومة الدارة الكلية.

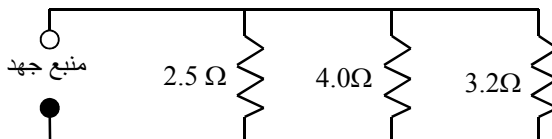
مسألة: ما مقدار التيار الذي يمر في دارة الشكل 1.26 عندما يساوي جهد المنبع 120 فولط؟
الحل:

$$E = IR$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120 \text{ V}}{9.7 \Omega} = 12.3711 \dots \text{ or } 12 \text{ A}$$

2.3.26 الدارة المتوازية

ثمة أكثر من مسار واحد للتيار في الدارة المتوازية (انظر الشكل 2.26) ولذا فإن المقاومة الكلية للدارة لا تساوي مجموع المقاومات الإفرادية. ويتحدَّد التيار الكلي في الدارة بمقاومتها الكلية، وتتحدَّد المقاومة الكلية هنا بطريقة تختلف عن طريقة تحديدها في الدارة التسلسلية. ويتحدَّد التيار عبر أي مسار بقسمة الجهد المطبَّق على طرفيه على مقاومته.



الشكل 2.26 دارة متوازية.

يمكن تحديد المقاومة الكلية للدائرة المتوازية بأكثر من طريقة. وفي إحداها، يساوي عكس المقاومة الكلية مجموع معكوسات المقاومات الإفرادية:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

يتطلب حل هذه المعادلة توحيد مقامات الكسور أو تحويل الكسور العادية إلى كسور عشرية. وأسهل طريقة لتحديد المقام المشترك هي ضرب المقامات. وحين تطبيق هذه الطريقة على دائرة الشكل 2.26، نجد أن عكس المقاومة الكلية يساوي:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_T} &= \frac{1}{2.5 \, \Omega} + \frac{1}{4.0 \, \Omega} + \frac{1}{3.2 \, \Omega} \\ &= \frac{12.8}{32} + \frac{8}{32} + \frac{10}{32} \\ &= \frac{30.8}{32} = 0.9625 \, \Omega \end{aligned}$$

وتساوي المقاومة الكلية:

$$R_T = \frac{1}{0.9625} = 1.03896 \dots \text{ or } 1.0 \, \Omega$$

تساوي المقاومة الكلية للدائرة في هذا المثال 1.0 أوم.

حين تحويل الكسور العادية إلى كسور عشرية، يجب الانتباه إلى أن حاصل الجمع يمثل عكس قيمة المقاومة الكلية.

مسألة: حدّد المقاومة الكلية للدائرة المتوازية في الشكل 2.26 بطريقة الكسور العشرية.

الحل:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{2.5 \Omega} + \frac{1}{4.0 \Omega} + \frac{1}{3.2 \Omega}$$

$$R_T = 0.4 \Omega^{-1} + 0.25 \Omega^{-1} + 0.3125 \Omega^{-1} = 0.9625 \Omega^{-1}$$

$$R_T = \frac{1}{0.9625} = 1.038 \dots \text{ or } 1.0 \Omega$$

قارن المقاومة الكلية لهذه الدائرة بالمقاومة الكلية للدائرة التسلسلية. بوجود المقاومات نفسها، تكون المقاومة الكلية في الدائرة المتوازية أصغر كثيراً من المقاومة الكلية للدائرة التسلسلية.

وثمة طريقة أخرى لإيجاد المقاومة الكلية للدائرة المتوازية، وهي حساب المقاومة المكافئة لمقاومتين متوازيتين في كل مرة على التوالي حتى تحويل جميع المقاومات المتوازية إلى مقاومة واحدة. ويتحقّق ذلك باستعمال المعادلة التالية:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

عندما يكون في الدائرة أكثر من مقاومتين متوازيتين، حدّد المقاومة المكافئة R_E لأي مقاومتين، ثم حدّد المقاومة المكافئة للمقاومة الناتجة مع مقاومة ثالثة، وكرّر ذلك مع جميع المقاومات حتى تبقى مقاومة مكافئة واحدة في الدائرة فقط. بالتّباع هذه الطريقة، تُحسّب مقاومة دارة الشكل 2.26 على النحو التالي:

$$R_E = \frac{2.5\Omega \times 4.0\Omega}{2.5\Omega + 4.0\Omega} = 1.538 \dots \text{ or } 1.5\Omega$$

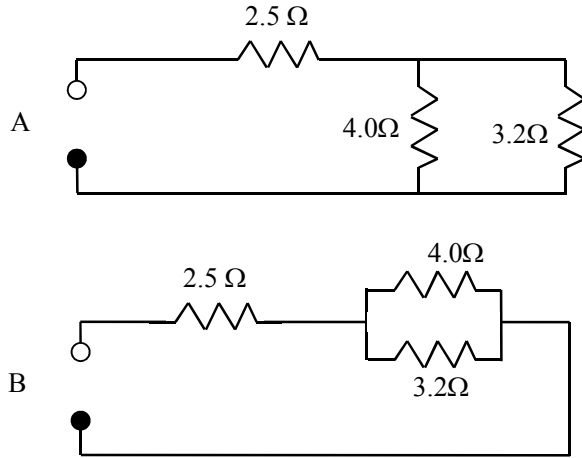
$$R_T = \frac{1.5\Omega \times 3.2\Omega}{1.5\Omega + 3.2\Omega} = 1.038 \dots \text{ or } 1.0\Omega$$

تُطابق النتيجة المحسوبة بهذه الطريقة النتيجة المحسوبة بالطريقتين السابقتين.

4.26 الدارات المختلطة

تجمع الدارة المختلطة ما بين خواص الدارات المتوازية والدارات التسلسلية. وهذا النوع من الدارات أكثر شيوعاً في التجهيزات الإلكترونية مقارنة بالدارات المستعملة لتزويد الآلات الزراعية بالطاقة الكهربائية.

انظر الشكل 3.26. في الدارة A، يجب أن تمر كل الكهرباء في المقاومة 2.5 أوم، وبعدئذ تتفرّع في المسارين المتاحين، فيذهب جزء من التيار إلى المقاومة 4.0 أوم، ويذهب الجزء الآخر إلى المقاومة 3.2 أوم. وينطبق الشيء نفسه على الدارة B التي رُسمت بطريقة مختلفة لبيان العلاقة بين المقاومات الثلاث.

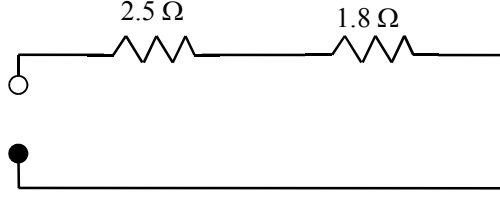


الشكل 3.26 طريقتان لتمثيل دارة تسلسلية تفرعية.

لحساب المقاومة الكلية للدارة المختلطة، ابدأ بحساب المقاومة المكافئة للمقاومات المتوازية. فنتحوّل الدارة حينئذ إلى دارة تسلسلية ويمكن جمع المقاومات حينئذ. إنه لمن المفيد أن يُعاد رسم الدارة بعد ضم كل مقاومتين متوازيتين معاً. لتحديد المقاومة الكلية للدارة في الشكل 3.26، نحسب أولاً المقاومة المكافئة للمقاومتين المتوازيتين حيث يمكن استعمال أيٍّ من معادلات الدارة المتوازية. ونرى أن المعادلة التي تحتوي على مقاومتين متوازيتين أسهل استعمالاً هنا:

$$R_E = \frac{4.0 \, \Omega \times 3.2 \, \Omega}{4.0 \, \Omega + 3.2 \, \Omega} = \frac{12.8 \, \Omega}{7.2 \, \Omega} = 1.777 \dots \, \Omega$$

تساوى المقاومة المكافئة للجزء المتوازي من الدارة 1.8 أوم. والخطوة التالية هي ضم المقاومة المكافئة إلى المقاومة المتبقية في الدارة.



الشكل 4.26 الدارة التسلسلية المكافئة للدارة المختلطة في الشكل 3.26.

يُري الشكل 4.26 أنه يمكن تحويل الدارة التسلسلية المتوازية إلى دارة تسلسلية. وتساوي المقاومة الكلية لهذه الدارة:

$$R_T = 2.5 \Omega + 1.777 \Omega = 4.3 \Omega$$

تساوي مقاومة الدارة المختلطة في هذا المثال 4.3 أوم.

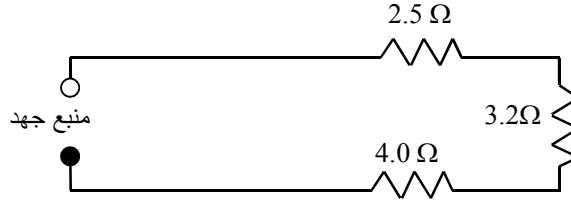
5.26 حساب الجهد والتيار في الدارة الكهربائية

يتحدّد الجهد في دارات التطبيقات الزراعية بجهد منبع الطاقة الكهربائية. ويساوي الجهد المعياري المنزلي المعتمد 120 أو 240 فولط. ويمكن أن تُستعمل في التطبيقات الزراعية نظماً كهربائية تعمل بـ 6 أو 12 أو 24 أو 48 فولط.

ويتحدّد التيار بقياسه ضمن الدارة بواسطة مقياس تيار أو بحسابه بواسطة قانون أوم $E = IR$. يمثل E في هذا القانون الجهد الكهربائي مقدراً بالفولط، ويمثل I شدة التيار الكهربائي مقدراً بالأمبير، وتمثل R مقاومة الدارة مقدراً بالأوم. وعندما تكون المقاومة معلومة، يمكن حساب التيار بعد إعادة ترتيب قانون أوم وتقسيم جهد المنبع على مقاومة الدارة الكلية:

$$I(\text{amp}) = \frac{E(\text{volts})}{R(\text{Ohms})}$$

مسألة: حدّد التيار الكلي في الدارة التسلسلية المبينة في الشكل 5.26. جهد المنبع يساوي 120 فولط.



الشكل 5.26 دارة تسلسلية للمسألة.

الحل: باستعمال قانون أوم:

$$I(\text{amp}) = \frac{E(\text{volts})}{R(\text{ohms})} = \frac{120 \text{ V}}{(2.5 + 3.2 + 4.0) \Omega} = \frac{120 \text{ V}}{9.7 \Omega}$$

$$= 12.371 \dots \text{ or } 12 \text{ amp}$$

إذا ساوت مقاومة الدارة التسلسلية 9.7 أوم، وساوى جهد المنبع 120 فولط، مر في الدارة 12 أمبير.

ويُستعمل الإجراء نفسه لتحديد التيار في الدارة المتوازية، حيث يُقسم جهد المنبع على المقاومة الكلية للدارة.

6.26 استعمال مقياس الجهد والتيار

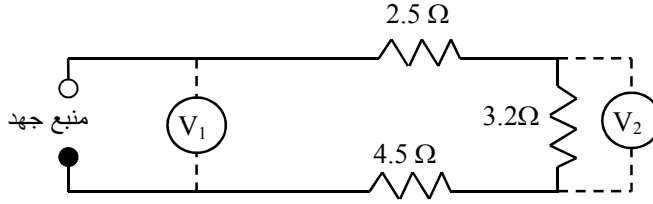
حين البحث عن مشكلات في الدارة، من المفيد التمكن من قياس جهدها وتيارها. ويسمى الجهازان المستعملان لهذه الغاية مقياس الجهد ومقياس التيار. وحين وصل الجهاز في الدارة على نحو صحيح، يقيس الجهد أو التيار فيها.

1.6.26 مقياس الجهد

يجب تذكر خاصيتين للدائرة الكهربائية حين استعمال مقياس الجهد: (1) الجهد هو فرق الكمون بين نقطتين، ولذا فإن القراءة التي يُشير إليها مقياس الجهد هي فرق الكمون بين نقطتي وصل المقياس مع الدارة. ولتقليل أثر إضافة مقياس الجهد إلى الدارة، يُزود مقياس الجهد بمقاومة داخلية كبيرة. (2) حينما يمر التيار في المقاومة، تتولد حرارة ويؤدي ضياع الطاقة إلى انخفاض الجهد. ويسمى نقصان الجهد هذا بهبوط الجهد.

1.1.6.26 مقياس الجهد في الدارة التسلسلية

وُصِّل مقياس الجهد V_1 في الشكل 6.26 بين طرفي المنبع. لذا سوف تساوي القراءة التي يشير إليها جهد المنبع، بافتراض أن الأسلاك عديمة المقاومة. ووُصِّل مقياس الجهد V_2 على طرفي المقاومة 3.2 أوم، ولذا يشير إلى فرق الكمون بين طرفيها، أي إلى هبوط الجهد عليها.



الشكل 6.26 مقياسا جهد في دائرة تسلسلية.

مسألة: ما القيمة التي سوف يُشير إليها مقياس الجهد رقم 2 في الشكل 6.26 إذا كان الجهد الذي يُشير إليه المقياس رقم 1 يساوي 120 فولت؟

الحل: يقيس مقياس الجهد رقم 2 هبوط الجهد على المقاومة 3.2 أوم. وينجم هبوط الجهد عن مرور تيار عبر المقاومة. ولحساب هبوط الجهد على هذه المقاومة، تجب معرفة التيار الكلي المار في الدارة. لذا فإن الخطوة الأولى هي حساب التيار الكلي المار في الدارة.

لحساب التيار الكلي في الدارة، تجب معرفة مقاومة الدارة الكلية:

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= (2.5 + 3.2 + 4.0)\Omega \\ &= 9.7 \Omega \end{aligned}$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120 \text{ V}}{9.7 \Omega} = 12.37 \dots \text{ or } 12 \text{ amp}$$

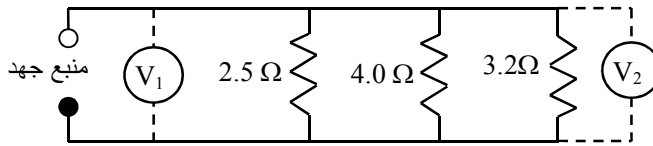
الخطوة التالية هي تحديد هبوط الجهد على المقاومة:

$$E = IR = 12 \text{ amp} \times 3.2 \Omega = 38.4 \text{ or } 38 \text{ V}$$

حين مرور 12 أمبير عبر المقاومة 3.2 أوم، يهبط عليها 38 فولط، ويشير المقياس رقم 2 إلى هذه القيمة.

2.1.6.26 مقياس الجهد في الدارات المتوازية

من حيث الجوهر، يكون مقياس الجهد الموصول مع طرفي المقاومات موصولاً مع طرفي منبع الجهد. لذا، وبافتراض عدم هبوط جهد على الأسلاك، فإن كلا المقياسين في الشكل 7.26 يشيران إلى قيمة الجهد نفسها، وهي قيمة جهد المنبع.



الشكل 7.26 مقياسا جهد في دارات متوازية.

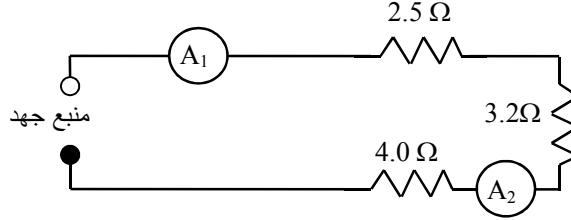
2.6.26 مقياس التيار

تُستعمل مقاييس التيار لقياس شدة التيار الذي يمر في الدارة. يُوصل مقياس التيار المخبري مع الدارة تسلسلياً. ولتقليل تأثير المقياس في عمل الدارة، ومن ثمَّ في نتيجة القياس، يُصنع بمقاومة داخلية صغيرة جداً. وثمة نوع آخر من مقاييس التيار، هو المقياس اللاقط الذي يقيس شدة الحقل الكهرومغناطيسي حول السلك ويحوّلها إلى شدة تيار.

1.2.6.26 مقياس التيار في الدارة التسلسلية

عندما حسبنا تيار هذه الدارة في المقطع السابق، بيّنا أنه عندما يساوي جهد المنبع 120 فولط فإن التيار يساوي 12 أمبير. لا توجد في الدارة التسلسلية

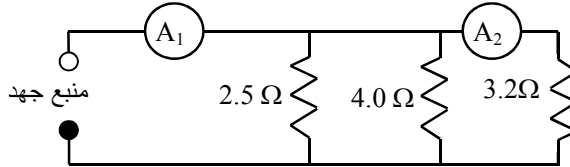
خيارات لمسارات التيار، ونظراً إلى أن كل التيار يمر عبر جميع مكونات الدارة، فإن كلا مقياسي التيار في الشكل 8.26 سوف يشيران إلى القيمة نفسها، أي 12 أمبير.



الشكل 8.26 مقياسا تيار في دارة تسلسلية.

2.2.6.26 مقاييس التيار في الدارات المتوازية

يجب وصل مقاييس التيار في الدارات المتوازية أيضاً بحيث يمر التيار فيها. ونظراً إلى وجود مسارات مختلفة للتيار في الدارة، فإن المقياس يقيس تيار الفرع الذي يوضع فيه فقط. انظر الشكل 9.26.



الشكل 9.26 مقياسا تيار في دارات متوازية.

مسألة: ما مقدار قراءات مقاييس التيار رقم 1 و 2 في الشكل 9.26 عندما يساوي جهد المنبع 120 فولط؟

الحل: في هذه المسألة، المقياس 1 موضوع بين المنبع والفرع الأول من الدارة. ولذا يقيس تدفق التيار الكلي في الدارة. أما المقياس 2، فهو موجود

ضمن الفرع الأخير من الدارة، ولذا يقيس تيار ذلك الفرع فقط. وفي أحد المقاطع السابقة، بيّنا أنه لحساب شدة التيار، تجب معرفة منبع الجهد والمقاومة الكلية للدارة. لذا يجب حساب مقاومة الدارة الكلية أولاً:

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_T} &= \frac{1}{2.5 \Omega} + \frac{1}{4.0 \Omega} + \frac{1}{3.2 \Omega} \\ &= \frac{12.81}{32 \Omega} + \frac{8}{32 \Omega} + \frac{10}{32 \Omega} \\ &= \frac{30.8}{32 \Omega} = 0.9625 \Omega^{-1}\end{aligned}$$

$$R_T = \frac{1}{0.9625 \Omega^{-1}} = 1.04 \text{ or } 1.0 \Omega$$

والخطوة التالية هي حساب التيار الكلي المار في الدارة:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120 \text{ V}}{1.0 \Omega} = 120 \text{ amps}$$

يشير المقياس رقم 1 إلى 120 أمبير.

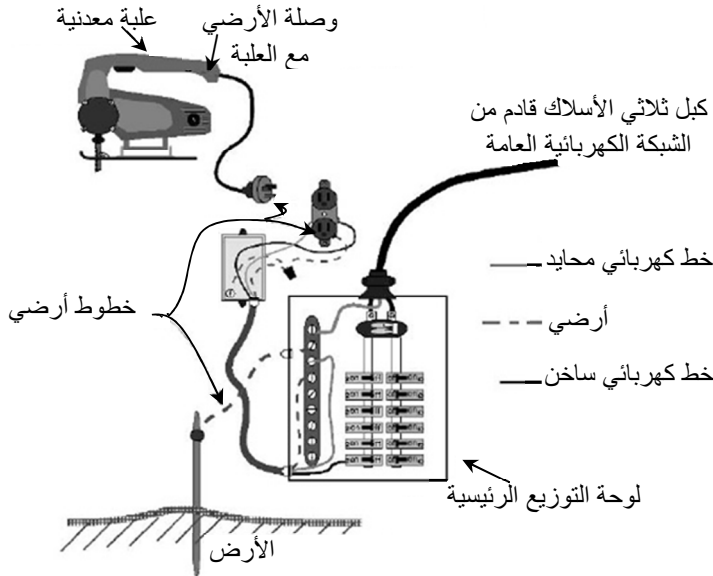
ولا يقيس المقياس 2 إلا تيار الفرع الذي هو فيه:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120 \text{ V}}{3.2 \Omega} = 37.5 \text{ amps}$$

باختصار، وبافتراض أن أسلاك الدارة عديمة المقاومة، يبقى التيار في الدارات التسلسلية نفسه، ويتغير هبوط الجهد على المقاومة بتغيُّرها. وفي الدارات المتوازية، يبقى الجهد نفسه مطبقاً على جميع المقاومات، ويتغير تيار المقاومة بتغيُّرها.

7.26 التأريض

بغرض التبسيط، استعملنا في المناقشات السابقة للدارات الكهربائية سلكين فقط، هما الخط الساخن والخط الحيادي. لكن بغية التزام القوانين النازمة للتوصيلات الكهربائية، تُستعمل في نظام الأسلاك الكامل ثلاثة أسلاك على الأقل، هي الخط الساخن والخط الحيادي وخط الأرضي. ويُوصل خط الأرضي (أرضي التجهيزات) مع علبة الجهاز المعدنية التي يجب أن توصل مع الأرض بواسطة دائرة منخفضة المقاومة. انظر الشكل 10.26.



الشكل 10.26 تأريض التجهيزات.

ويتحقق ذلك عادة بوصلها بقضيب التأريض في علبة التوزيع الرئيسية. فإذا حصل تماس بين المكونات الكهربائية وعلبة الجهاز، سمحت دائرة الأرضي

المنخفضة المقاومة بتدفق للتيار يفوق التيار المسموح به في دارة الحماية (الفاصمة أو قاطع الحماية)، فتتقطع الدارة. أما إذا حصل التماس من دون أن يكون خط الأرضي موصولاً بين العلبة والأرض، فإن جسم الشخص المشغّل للجهاز أو أجزاء من جسمه يمكن أن تكمل الدارة مؤدية إلى إصابته بصدمة كهربائية خطيرة.

مقاسات الأسلاك الكهربائية

1.27 الأهداف

1. فهم أهمية استعمال أسلاك كهربائية موصلة ذات مقاسات ملائمة.
2. التمكن من حساب هبوط الجهد.
3. التمكن من حساب مقاس السلك الموصل المناسب.
4. التمكن من اختيار مقاسات الأسلاك المناسبة من الجداول.
5. فهم أهمية دارة الحماية، والتمكن من تحديد أنواعها الثلاثة الشائعة.

2.27 تقديم

تُستعمل الأسلاك الموصلة لنقل الكهرباء. وتتصف المعادن المستعملة فيها بمقاومة منخفضة نسبياً، إلا أن مقاومتها تكون كبيرة بقدر كاف لهبوط جهد عليها حين مرور تيار فيها. وإذا جرى تحميلها على نحو زائد، ازداد هبوط الجهد عليها وأدى إلى انخفاض كفاءة الدارة وازدياد التسخين الناجم عن ذلك. ويؤدي تسخين الأسلاك إلى ما فوق درجة حرارة عملها المصممة من أجلها إلى انهيار عازلها، ويمكن للحرارة المتولدة أن تكون كافية لإشعال نار إذا وُجدت مادة قابلة للاشتعال بجوارها.

3.27 حساب هبوط الجهد

للإبقاء على الحرارة الناجمة عن مرور التيار الكهربائي عبر مقاومة عند المستوى التصميمي، تضع المعايير الوطنية، وخاصة المعيار الكهربائي الوطني (الأميركي) حدوداً لهبوط الجهد المسموح به على أسلاك الدارة. ويساوي هذا الهبوط في معظم الدارات 2 أو 3%. وهبوط الجهد هو المصطلح المستعمل لوصف الانخفاض في الجهد الناجم عن مرور التيار عبر مقاومة. ويحصل هبوط الجهد لأن المواد تقاوم مرور التيار الكهربائي فيها. والمسألة المهمة هنا هي ضمان ألا يكون ذلك الهبوط أكبر من المسموح به. ويتحدد مقدار هبوط الجهد بشدة التيار ومقاومة الدارة الكلية. ويتحدد مقياس السلك المطلوب لحمل كهربائي بالهبوط المسموح به للدارة. ومقدار الحمل وطول السلك من منبع الكهرباء إلى الحمل. وتعطى مقاومة الأسلاك عادة بالأوم لكل 1,000 قدم من طول السلك. ونظراً إلى أن التيار يجب أن يمر عبر كامل السلك، فإن السلك يعمل بوصفه مقاومة تسلسلية مستمرة واحدة.

يتضمن الملحق 12 مقاومة أسلاك نحاسية مختلفة المقاسات مقتبسة من معيار الأسلاك الأمريكي*، ويتضمن الملحق 13 قيم مقاومات لمقاسات الأسلاك بالوحدات المترية. لاحظ أن المقاومة معطاة بالأوم لكل 1000 قدم أو لكل 100 متر من الطول. ونادراً ما تُستعمل أسلاك غير معزولة في الدارات، لكن نظراً إلى أن نوع العازل المستعمل يؤثر في المقاومة، فقد استُعملت تلك القيم لإيضاح مبدأ هبوط الجهد. أما قيم مقاومات الأسلاك المغلفة بأنواع مختلفة من العوازل فهي موجودة في المعيار الكهربائي الوطني (الأميركي) أو

* (American Wire Gauge) (AWG)

في مصادر أخرى، ويجب استعمال تلك القيم في حساب مقاسات الأسلاك في التطبيقات موضوع الاهتمام.

يُحسب هبوط الجهد باستعمال قانون أوم. وفي حالة الدارات ذات الأغراض العامة، يجب تحديد هبوط الجهد بـ 2%. ويسمح معيار الكهرباء الوطني بهبوط جهد بمقدار 3% في بعض الدارات. وحين حساب هبوط الجهد، فإن طول السلك يُعتبر عادة إما طوله من المنبع إلى الحمل، ثم رجوعاً من الحمل إلى المنبع (طول السلك)، أو طول المسافة من المنبع إلى الحمل.

مسألة: ما مقدار هبوط الجهد على سلك من النوع 12 وطوله يساوي 1500.0 قدم، وتساوي شدة تيار الحمل المار فيه 10.0 أمبير؟

الحل: من الملحق 12، مقاومة السلك من النوع 12 تساوي 1.62 أوم لكل 1000 قدم. وباستعمال قانون أوم نجد أن هبوط الجهد على السلك يساوي:

$$E = IR = 10.0 \text{ amp} \times \frac{1.62 \Omega}{1,000 \text{ ft}} \times 1,500 \text{ ft} = 24.3 \text{ V}$$

يساوي هبوط الجهد على السلك رقم 12 الذي يساوي طوله 1500 قدم 24.3 فولط. فإذا كان جهد المنبع يساوي 120 فولط، فهل هبوط الجهد هذا مقبول؟ تساوي النسبة المئوية لهبوط الجهد هذا:

$$\frac{24.3 \text{ V}}{120 \text{ V}} \times 100 = 20.25\%$$

الجواب طبعاً لا، فالقيمة 20.25% كبيرة جداً. وإذا استُعمل السلك رقم 12 مع هذا الحمل، فإن الجهاز الكهربائي لن يعمل على نحو صحيح، وسوف يسخن السلك إلى درجة حرارة أعلى من المقبولة، وثمة إمكانية لنشوب حريق نتيجة

لذلك. لذا ثمة حاجة إلى سلك ذي مقاس أكبر لنقل تيار الحمل الذي يساوي 10.0 أمبير مسافة 1500 قدم.

وفي حالة الأسلاك التي هي أطول أو أقصر من 1000 قدم، تكون المقاومة متناسبة خطياً مع الطول. وحينئذ تساوي المقاومة الكلية لأي طول:

$$R_L = \frac{R (\Omega)}{1,000 \text{ ft}} \times L(\text{ft})$$

حيث R_L هي مقاومة السلك الكلية مقدرة بالأوم للطول L المقدّر بالقدم، و R هي المقاومة مقدرة بالأوم لكل 1000 قدم.

4.27 حساب مقاس السلك الموصل

استعملنا المسألة السابقة لإيضاح مبدأ هبوط الجهد. لكن عملياً، ونظراً إلى أن نسبة الهبوط المئوية مقيّدة بالمعايير الكهربائية، تُحدّد مقاسات الأسلاك بحساب مقاومة الـ 1,000 قدم منها التي تؤدي إلى هبوط جهد مقبول، ثم يُختار المقاس المناسب من جدول مشابه للملحق 12.

مسألة: ما مقاس السلك اللازم لنقل تيار شدته 15.0 أمبير وجهده يساوي 120 فولت إلى حمل مسافته تساوي 200.0 قدم، على ألا يزيد هبوط الجهد عليه على 2%؟

الحل: الخطوة الأولى هي تحديد هبوط الجهد المسموح به:

$$V_D = 120 \text{ V} \times 0.02 = 2.4 \text{ V}$$

ثم نحسب مقاومة السلك التي تؤدي إلى هبوط في الجهد يساوي 2.4 فولط، وذلك باستعمال قانون أوم:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{2.4 \text{ V}}{15.0 \text{ amp}} = 0.16 \Omega$$

إذا كانت المقاومة أقل من 0.16 أوم، وكان التيار يساوي 15 أمبير، فإن هبوط الجهد يكون أقل من 2%. انتبه إلى أن الجهد المستعمل في حساب المقاومة هنا هو هبوط الجهد، لا جهد المنبع.

ولاختيار السلك ذي المقاس الصحيح، يجب تحويل المقاومة المحسوبة إلى مقاومة الـ 1000 قدم، ثم اختيار المقاس الملائم من الملحق 12. ويتحقق ذلك باستعمال حذف الوحدات:

$$R \left(\frac{\Omega}{1,000 \text{ ft}} \right) = \frac{0.16 \Omega}{2 \times 200.0 \text{ ft}} \times 1,000 \text{ ft} = 0.40 \frac{\Omega}{1,000 \text{ ft}}$$

بعدئذٍ نقارن قيمة المقاومة هذه بالقيم الواردة في الملحق 12 (لاحظ أن مسافة الحمل 200.0 قدم قد ضربت بـ 2 لأخذ طول السلك بالكامل، من المنبع إلى الحمل ثم إلى المنبع، في الحساب). والغرض هو اختيار مقاس للسلك ذي مقاومة تساوي أو تقل عن القيمة المحسوبة. بالرجوع إلى الملحق 12، مقاومة السلك رقم 6 تساوي 0.41 أوم للـ 1000 قدم، ومقاومة السلك رقم 4 تساوي 0.26 أوم للـ 1000 قدم. لذا يُعتبر السلك رقم 4 أفضل خيار لأن مقاومته قريبة من المقاومة المحسوبة وليست أكبر منها.

تبيّن هذه الأمثلة أن هبوط الجهد ينجم عن مقاومة السلك والتيار المار فيه. ومن أمثلة أهمية فهم هبوط الجهد الأخرى استعمال المدّادات (أسلاك

التطويل). فاستعمال مدّات غير ملائمة يمكن أن يؤدي إلى عواقب خطيرة. يُصنع كثير من المدّات التي تُباع في الأسواق من السلك رقم 16 أو 18. وهذه أسلاك محدودة جداً من حيث التيار الذي تستطيع نقله. من ناحية أخرى، حين استعمال أكثر من مدّاة واحدة، يمكن لمقاومة الوصلة بين المدّاتين أن تكون مساوية أو أكبر من مقاومة الأسلاك. وهذا هو سبب أن وصلات المدّات ذات التحميل الكبير تكون دافئة أو ساخنة حين لمسها.

مسألة: ما مقدار التيار الذي يمكن لمدّاة ذات سلك رقمه 18، وطوله يساوي 100 قدم، أن تنقله من دون أن يتجاوز هبوط الجهد فيها 2% عندما يساوي جهد المنبع 120 فولط؟

الحل: نحدّد أولاً هبوط الجهد المسموح به:

$$V_D = 120 \text{ V} \times 0.02 = 2.4 \text{ V}$$

ثم نحسب التيار الذي يؤدي إلى هبوط جهد على المدّاة يساوي 2.4 فولط. ويتحقق ذلك باستعمال قانون أوم ومقاومة السلك رقم 18. تذكّر أن طول السلك الكلي يساوي ضعف المسافة (أي 200 قدم):

$$I = \frac{E}{R} = \frac{2.4 \text{ V}}{\frac{6.51 \Omega}{1000 \text{ ft}} \times 200 \text{ ft}} = \frac{2.4 \text{ V}}{1.302 \Omega} = 1.843 \dots \text{ or } 1.84 \text{ amp}$$

يساوي التيار الأعظمي الذي يمكن أن يمر في سلك رقم 18 طوله 100 قدم 1.84 أمبير. فإذا استعملت المدّاة لنقل تيار أكبر، فإنها سوف تسخن.

من العوامل غير الواضحة في استعمال المدّات مقاومة الوصلات. فمقاومة المدّتين اللتين يساوي طول كل منهما 50 قدماً يمكن أن تكون أكبر من مقاومة مدّاة واحدة طولها 100 قدم، على الرغم من كون أسلاكهما من المقاس نفسه. وفهم المشكلة الكامنة في المدّاة على نحو أفضل، انظر في المثال التالي.

مسألة: ما مقدار التيار الأعظمي الذي يمكن أن يمر في المدّاة ذات السلك رقم 18 المذكورة في المسألة السابقة إذا استعملت مدّاتان وكانت مقاومة الوصلة بينهما 8.0 أوم؟

الحل: باستعمال هبوط جهد مسموح به يساوي 2.4 فولط مع قانون أوم:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{2.4 \text{ V}}{\left(\frac{6.51 \Omega}{1000 \text{ ft}} \times 200 \text{ ft}\right) + 8.0 \Omega}$$

$$= \frac{2.4 \text{ V}}{9.302 \Omega} = 0.2580 \dots \text{ or } 0.26 \text{ amp}$$

يتّضح من هذا المثال أن استعمال مدّتين طول كل منهما 50 قدماً بدلاً من مدّاة واحدة طولها 100 قدم يقلّص التيار بمقدار سبع مرات بسبب المقاومة الإضافية الناجمة عن الوصلة بين المدّتين والتي تساوي 8.0 أوم.

تقدّر استطاعات كثير من الأدوات الكهربائية بالواط. ولتحديد مقاسات الأسلاك اللازمة لتشغيل جهاز استطاعته مقدّرة بالواط، يجب استعمال الاستطاعة الكهربائية أولاً لتحديد تيار الحمل (التيار الذي يمر في الجهاز).

مسألة: سوف تُستعمل مدّاة طولها يساوي 25 قدماً لتغذية مكواة كهربائية استطاعتها تساوي 1100 واط بجهد كهربائي يساوي 120 فولط. ما مقاس المدّاة التي يجب استعمالها؟

الحل: حدّد أولاً شدة التيار التي تمر في المكواة:

$$P = EI$$

$$I = \frac{P}{E} = \frac{1,100 \text{ W}}{120 \Omega} = 9.166 \dots \text{ or } 9.2 \text{ amp}$$

وباستعمال هبوط جهد مسموح به يساوي 2%، حدّد الآن مقاومة المدّاة الكلية المسموح بها:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{2.4 \text{ V}}{9.2 \text{ amp}} = 0.2618 \dots \text{ or } 0.26 \Omega$$

تساوي مقاومة المدّاة الكلية المسموح بها 0.26 أوم. حدّد الآن مقاومة الـ 1000 قدم من السلك:

$$\begin{aligned} R \left(\frac{\Omega}{1,000 \text{ ft}} \right) &= \frac{0.26 \Omega}{50 \text{ ft}} \times 1,000 \text{ ft} \\ &= 5.236 \dots \text{ or } 5.2 \frac{\Omega}{1,000 \text{ ft}} \end{aligned}$$

مقاومة السلك رقم 18 تساوي 6.51 أوم للـ 1,000 قدم، ومقاومة السلك رقم 16 تساوي 4.09 أوم للـ 1,000 قدم. وبافتراض أن مقبَسَي المدّاة والمكواة في حالة جيدة، يُعتبر سلك المدّاة رقم 16 الذي يساوي طوله 25 قدماً ملائماً للمكواة التي تساوي استطاعتها 1100 واط.

5.27 اختيار مقاسات الأسلاك من الجداول

الطريقة الأخرى لتحديد مقاسات الأسلاك هي استعمال الجداول المعدّة لهذا الغرض، ومن أمثلتها تلك المدرجة في الملحقين 14 و 15. إلا أن تلك الجداول تنطوي على مقبّلات عدة مهمة. فهي تنطبق فقط على أسلاك عوازلها من الأنواع R و T و TW و RH و RHW و THW، ويمكن استعمالها لهبوط جهد يساوي 2% فقط، ومع الجهدين 120 و 240 فولط. أما إذا كان السلك أو العازل أو هبوط الجهد أو جهد المنبع مختلفاً، فمن الضروري استعمال جداول مختلفة.

مسألة: حدّد مقاس السلك اللازم لوصل تغذية كهربائية جهدها يساوي 120 فولط إلى غرفة المضخة المبيّنة في الشكل 1.27.

الحل: يساوي الطول الكلي للسلك ضعف مجموع المسافات بين المبنى والعمود A، وبين العمودين، وبين العمود الثاني والمضخة B. حدّد أولاً المسافتين A و B باستعمال نظرية فيثاغورس:

$$a^2 = b^2 + c^2$$

المسافة A:

$$\begin{aligned} D_A &= \sqrt{25.0^2 + 20.0^2} \\ &= \sqrt{625 + 400} = 32.015 \dots \text{or } 32.0 \text{ ft} \end{aligned}$$

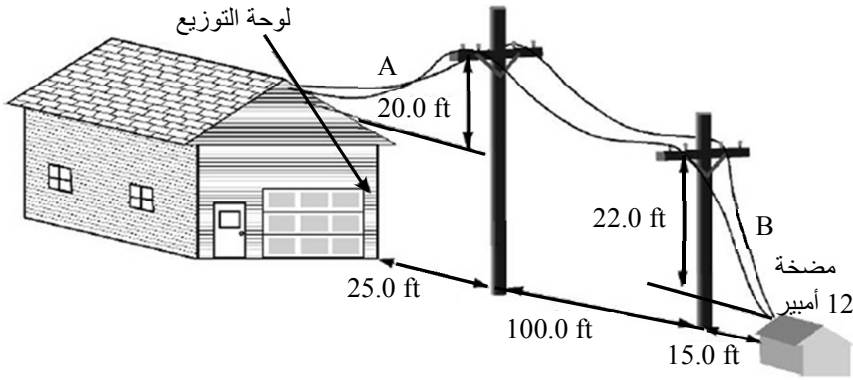
المسافة B:

$$D_B = \sqrt{15.0^2 + 22.0^2}$$
$$= \sqrt{225 + 484} = 26.627 \dots \text{ or } 26.6 \text{ ft}$$

ويساوي الطول الكلي للسلك:

$$L_T = (32 \text{ ft} + 26 \text{ ft} + 100 \text{ ft}) \times 2 = 316 \text{ ft}$$

وباستعمال الملحق 14، اختر السلك ذا المقاس الملائم. لا يتضمن الجدول سلكاً لـ 12 أمبير و 316 قدماً، لذا استعمل القيمتين الكبيرتين التاليتين (15 أمبير و 350 قدماً) اللتين تقابلان السلك رقم 3 في الملحق 14. تذكر أن تقارن هذه القيم بالقيمة الموجودة إلى يسار الخط العمودي وأن تستعمل المقاس الأكبر من بين المقاسين.



6.27 حماية الدارة

من الجوانب المهمة في أي دارة حمايتها من مرور تيار شديد فيها، وهذه هي وظيفة الفاصمة أو قاطع الحماية. تُستعمل أدوات الحماية من زيادة التيار لدرء ارتفاع حرارة الأسلاك. تذكر: عندما تمر الكهرباء عبر مقاومة، تتولد حرارة ويحصل هبوط للجهد عليها. وعندما يزداد الحمل الكهربائي في الدارة، تزداد الحرارة المتولدة، ويزداد هبوط الجهد أيضاً. لذا يحدّد التقني الكهربائي التيار الكلي الأعظمي الذي يمر في الدارة ويُركّب دارة الحماية الملائمة. وفي حالة الزيادة المفرطة في الحمل، ومن ثمّ في التيار، أو حالة حدوث قصّر في الدارة، تقطع أداة الحماية الدارة وتمنع التيار من المرور فيها. إذا احترقت الفاصمة أو سقط القاطع، فإن ذلك يعني أن الحمل أصبح كبيراً. لذا يجب تخفيض الحمل في الدارة أو إصلاح القصر قبل إعادة تشغيلها.

وأداة الحماية الإضافية التي ينص عليها معظم التشريعات للاستعمال المنزلي هي قاطع الدارة التفاضلي الذي يراقب باستمرار الفرق بين التيار المار في الخط الساخن والتيار المار في الخط الحيادي. وعندما يصل الفرق إلى 5 ميلي أمبير، يسقط القاطع التفاضلي ويفتح الدارة. وهذا يوفر مزيداً من الحماية لمستعملي الأدوات الكهربائية ذات العلب المعدنية بالقرب من الماء. ويوصي بعض المهندسين الكهربائيين أيضاً بتركيب القاطع التفاضلي في الدارات القريبة من الحيوانات، خاصة ذات القيمة العالية منها.

7.27 مسائل بالوحدات المترية

الوحدات والمصطلحات الشائعة في الكهرباء هي نفسها في المنظومتين العادية والمترية، وكثير من البلدان الأوروبية تستعمل أيضاً معيار الأسلاك

الأمبركي لتحديد مقاسات الأسلاك. وفيما يخص أولئك الذين يستعملون المقاسات المترية للأسلاك، يتضمن الملحق 13 مقاومات ثلاثة مقاسات أسلاك شائعة الاستعمال.

مسألة: ينقل سلك مساحة مقطعه تساوي 2.5 ميليمتر مربع 10 أمبير مسافة 24 متراً في دارة جهدها يساوي 120 فولط. فهل يتجاوز هبوط الجهد عليه القيمة العظمى المسموح بها التي تساوي 2%؟

الحل: حدّد أولاً هبوط الجهد الفعلي:

$$E = IR = 10 \text{ amp} \times \frac{0.676 \Omega}{100 \text{ m}} \times (24 \text{ m} \times 2) = 3.244 \text{ V}$$

حيث مقاومة المئة متر من السلك (0.676 Ω /100 m) معطاة في الملحق 13. ثم احسب النسبة المئوية لهبوط الجهد:

$$\frac{3.244 \text{ V}}{120 \text{ V}} = 2.704 \text{ or } 2.7\%$$

النتيجة هي أن الحمل غير مقبول لأن هبوط الجهد على السلك أكبر من 2%.

28.

المحركات الكهربائية

1.28 الأهداف

1. التمكن من شرح مزايا ومثالب المحركات الكهربائية بوصفها مصدراً للطاقة ووسيلة تحريك.
2. فهم استعمال وتصنيف أداء المحركات الكهربائية.
3. التمكن من وصف الأنواع الشائعة من المحركات.
4. التمكن من انتقاء الحماية المناسبة من التحميل الزائد للمحركات.
5. التمكن من قراءة لوحة معلومات المحرك.

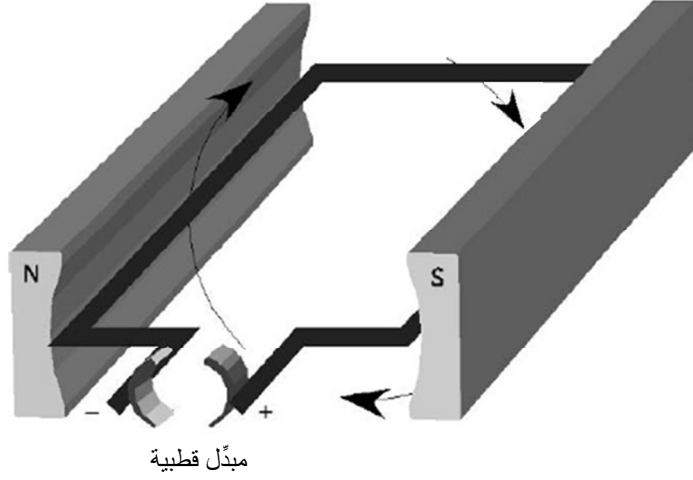
2.28 تقديم

المحرك الكهربائي هو آلة تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية، وتعتمد الزراعة الحديثة عليها اعتماداً كبيراً. لذا يجب على مديري نظم الإنتاج الزراعي أن يعرفوا أنواع المحركات الشائعة وأن يتمكنوا من انتقاء المحرك الملائم لتطبيق معين. وقد صنعَ منتجو المحركات نماذج كثيرة متنوعة منها بغية تحقيق متطلبات الأعمال الزراعية المختلفة. ويتحدّد عمر المحرك الكهربائي بمقدار ملاءمته للوظيفة المطلوبة منه وللبيئة التي سوف يعمل فيها. وسوف نناقش في المقاطع التالية خصائص واستعمالات المحركات الكهربائية الوحيدة الطور التي تعمل بالجهدين 120 و 240 فولط.

3.28 المحركات الكهربائية

المحرك الكهربائي هو وسيلة لتحويل الطاقة شأنه في ذلك شأن محرك الاحتراق الداخلي، لكن بدلاً من استعمال طاقة الوقود الكيميائية فيها، فإنها تُغذى بالكهرباء. وتحصل في المحرك الكهربائي تأثيرات متبادلة بين الأجزاء الثابتة والمتحركة منه. ونوعا التأثير المتبادل الرئيسيان فيما بينها هما الناقلية [التوصيل] والاستحثاث. وسوف نستعمل مبادئ المحرك التوصيلي لشرح عمل المحركات الكهربائية.

تستحث الكهرباء التي تمر في سلك كهربائي حقلاً مغناطيسياً كهربائياً حوله. وتكون للحقل الناتج قطبيتان، هما القطبية الموجبة "+" والقطبية السالبة "-". وعندما يتلاقى الحقل المغناطيسي الكهربائي مع حقل مغناطيسي مصدره مغنطيس دائم، تتولد قوة بين الحقلين، لأن القطبيات المتماثلة تتنافر والقطبيات المختلفة تتجاذب. وتتأثر شدة القوة بشدة التيار الكهربائي المار في السلك، وبشدة الحقل المغناطيسي الدائم، والزاوية بين السلك والحقل المغناطيسي الدائم. انظر الشكل 1.28.



الشكل 1.28 محرك كهربائي مبسط.

يُدخل مبدل القطبية في الشكل 1.28 الكهرباء إلى السلك الحلقي، ويتأثر الحقل المغنطيسي الكهربائي الناتج حوله بالحقل المغنطيسي الدائم الناجم عن المغنطيسين الدائمين. ويؤدي ذلك إلى دوران السلك. ويوجد في المحرك الكهربائي كثير من الأسلاك الحلقية الملفوفة حول القلب الدوار من المحرك، ويدور كل منها بضع درجات حين تغذيته بالكهرباء بواسطة مبدل القطبية. ونظراً إلى وجود مجموعة من الحلقات المتجاورة المتواصلة على كامل محيط الجزء الدوار، وإلى تغذيتها بالكهرباء واحدة بعد أخرى على التوالي، يستمر ذلك الدوار بالدوران ما دامت الطاقة الكهربائية تدخل عبر المبدل [إلى حلقات الأسلاك].

ثمة أنواع مختلفة من المحركات، وهي تصنف تبعاً لنوع الكهرباء الذي تعمل به ونوع التأثيرات المتبادلة بين الجزئين الدوار والثابت فيها. وسوف نناقش في المقطع التالي بعض مزايا وعيوب المحركات الكهربائية.

4.28 مزايا ومثالب المحركات الكهربائية

1.4.28 المزايا

تتصف المحركات الكهربائية بمزايا عديدة جعلتها أكثر شعبية من وسائل التحريك الأخرى:

1. **التكلفة الأولية:** يُعتبر سعر المحرك الكهربائي القائم على أساس وحدة الاستطاعة التي يقدمها منخفضاً نسبياً.
2. **التصميم:** يتألف المحرك الكهربائي من عدد صغير جداً من الأجزاء، سهلة التشغيل. يُضاف إلى ذلك أن أتمتة تشغيله سهلة بسبب تشغيله وإيقافه بواسطة قواطع كهربائية.
3. **تكلفة التشغيل:** تُعتبر تكلفة تشغيل المحرك الكهربائي منخفضة، فتمن الكهرباء يسمح بتشغيلها ببضعة سنتات فقط للحصان البخاري في الساعة. ويُضاف إلى ذلك أن تكلفة صيانتها منخفضة جداً أيضاً.
4. **المفعول البيئي:** لا يُؤلّد المحرك الكهربائي غازات، ولا يُستعمل فيه وقود قابل للاحتراق. ومع أن توليد الكهرباء يؤثر في البيئة، فإن من الأسهل مراقبة ذلك والحد من هذا المفعول إذا كان التوليد مركزاً في مكان واحد.
5. **الضجيج:** تعمل المحركات الكهربائية بهدوء وبقليل من الاهتزاز والضجيج.
6. **الكفاءة :** يُعتبر المحرك الكهربائي أكثر أنواع المحركات كفاءة، فكفاءة عمله تساوي ما بين 70 و 90%.

2.4.28 المثالب

1. **قابلية النقل:** ليست قابلية المحركات الكهربائية للنقل جيدة، فهي يجب أن تبقى موصولة مع منبع التغذية الكهربائية. إلا أن التطورات في تصميم البطاريات قد قلّصت من هذه المثبة في محركات التيار المستمر ذات الاستطاعات الصغيرة، أما محركات التيار المتناوب فما زالت تحتاج إلى مصدر للتيار المتناوب، وهذا المصدر ثابت على الأغلب.
2. **المخاطر الكهربائية:** تتصف الكهرباء بمفاعيل ضارة بالبشر والحيوانات حين حصول تماس معها. ونظراً إلى العدد الكبير من المحركات المستعملة في الزراعة وإلى كون بيئة المنشآت الزراعية كثيرة البلل والغبار مقارنة بالمباني المنزلية، فإن ثمة مخاطر كهربائية كبيرة مقترنة باستعمال المحركات الكهربائية في المباني الزراعية.

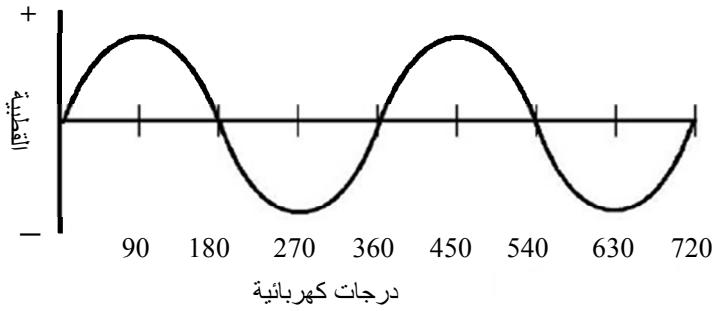
5.2.8 تصنيف استعمال المحركات الكهربائية وأدائها

يوفرّ التصنيف التالي لاستعمال وأداء المحركات الكهربائية أساساً للمقارنة فيما بين أنواعها المختلفة.

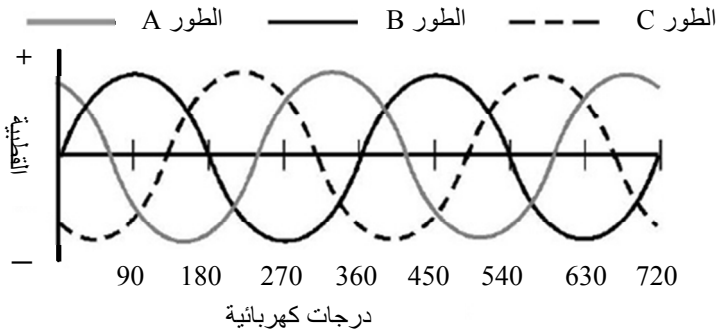
1.5.28 نوع التيار

يمكن شراء المحركات لتعمل بطور واحد أو ثلاثة أطوار، وبتيار مستمر أو تيار متناوب، وعند جهود عدة. ويعتمد الجهد ونوع التيار على استطاعة المحرك وعلى التغذية الكهربائية المتوفرة. أما الطور فهو تيار كهربائي متناوب ذو عدد محدّد ثابت من الدورات في الثانية. انظر الشكل 2.28.

أما في حالة التغذية الكهربائية الثلاثية الأطوار، فيوجد ثلاثة تيارات متناوبة منفصلة لها التردد نفسه (60 هرتس)، والقيم العظمى لجهودها منزاحة بفواصل متساوية يساوي كل منها 120 درجة كهربائية. انظر الشكل 3.28. ويُوصى باستعمال التيار الثلاثي الطور للأحمال الكبيرة، ويفرض معظم شركات توليد وتوزيع الكهرباء استعماله للأحمال التي تزيد عن 5-10 أحصنة بخارية.



الشكل 2.28 دورتان كاملتان من تيار متناوب وحيد الطور.



الشكل 3.28 دورتان كاملتان من تيار متناوب ثلاثي الطور.

2.5.28 نوع الغلاف

إن أهم أعداء المحركات هي السوائل والغبار والحرارة، وتُصمَّم المحركات الكهربائية بأغلفة (علب) متنوعة كي تعمل في البيئات المختلفة. فالمحرك المنيع على قطرات الماء يحتوي على فتحات تهوية، ولذا يعمل جيداً حتى لو سقطت عليه قطرات من الماء أحياناً. وفي المحرك المنيع على انسكاب الماء، تكون فتحات التهوية محمية من كل من قطرات الماء وانسكابه. ويحتوي هذان النوعان من المحركات على مروحة داخلية عادة تدفع الهواء عبر المحرك لدرء ارتفاع حرارته ارتفاعاً مفرطاً. ويمكن استعمال المحرك المحكم الإغلاق في البيئة المبلولة المغيرة، لأنه خال من الفتحات وليس ثمة من منافذ للهواء للوصول إلى أجزائه الداخلية. إلا أنه يجب نقل جميع الحرارة المتولدة في الداخل إلى سطح العلبة وتبديدها في الهواء. لذا تُزوَّد المحركات المحكمة الإغلاق بمراوح خارجية تُثَبَّت على العلبة لزيادة تدفق الهواء (المبرِّد) حولها.

3.5.28 نوع المحامل

تُصنع المحركات بمَحَامِل ذات أسطوانات أو كرات حمل. وتتصف محركات المحامل ذات الأسطوانات بأنها أرخص من المحامل ذات الكرات، إلا أن القوة العمودية على المحور التي تستطيع تحمُّله أصغر من القوة التي تتحملها المحامل ذات الكرات، وعمر المحمل يكون عادة أقصر إلا إذا أمكن تشحيمة.

4.5.28 نوع قاعدة التثبيت

وضع مصنِّعو المحركات معايير للحاصرات المستعملة في تثبيت المحركات. لذا، حين استبدال المحرك، لا حاجة إلى تعديلات لتركيبه إذا استُعمل طراز القاعدة نفسها.

5.5.28 المقدرة على الإقلاع تحت الحمل

تُبدى بعض الآلات التي تُحرَّك بواسطة محرِّك كهربائي مقاومة صغيرة للدوران حين إقلاعها. ولذا توصف بأنها سهلة الإقلاع. وثمة آلات أخرى تُبدى مقاومة كبيرة للدوران حين إقلاعها، وتوصف بأنها صعبة الإقلاع. ويعتمد مقدار عزم الدوران اللازم لإقلاع الآلة على نوع ومقاس وخصائص تشغيل تلك الآلة. لذا ثمة حاجة إلى معرفة شيء عن خصائص إقلاع الآلة بغية اختيار المحرِّك الملائم لها.

6.5.28 تيار الإقلاع

تحتاج المحركات إلى تيار للإقلاع أكبر من تيار تشغيل الحمل بعد بدء الدوران. ويمكن لتيار الإقلاع أن يكون أكبر بسبع أو ثماني مرات من تيار التشغيل. ويُصنَّف تيار إقلاع المحرِّك بأنه صغير أو متوسط أو كبير.

7.5.28 العكسية

يمكن تصميم المحركات الكهربائية للدوران باتجاه دوران عقارب الساعة أو بالاتجاه المعاكس، إلا أن من الممكن تغيير اتجاه دوران بعضها من قبل التقنيين المختصين. وتُصنَّف هذه المحركات بأنها عكوسة الدوران كهربائياً أو ميكانيكياً.

8.5.28 الجهد المزدوج

إذا كان المحرك مزوداً بجهد مزدوج، فإن من الممكن تشغيله بـ 120 فولط أو بـ 240 فولط. ويتحدد الجهد المستعمل بالجهد المتوفر من الشبكة الكهربائية

العامة. إلا أن المحركات التي تعمل بـ 240 فولط أعلى كفاءة وتحتاج إلى أسلاك ذات مقطع عرضاني أصغر.

6.28 أنواع المحركات

ليست مواصفات أنواع المحركات والمعلومات عن النوع الأمثل لتطبيق معين من اهتمامات هذا الكتاب. فكل منها مزاياه وعيوبه تبعاً للتطبيقات المختلفة. انظر الشكل 4.28.

لكن ثمة ثلاثة من أنواع المحركات أكثر شيوعاً في التطبيقات الزراعية من غيرها، وهي مدرجة في المقاطع التالية مع وصف مختصر لكل منها.

1.6.28 الطور المنزلق

تُعتبر محركات الطور المنزلق [غير المتزامنة] رخيصة الثمن وهي تُستعمل عموماً للأحمال السهلة الإقلاع. ويمكن لتيار الإقلاع فيها أن يصل إلى سبعة أضعاف تيار عملها العادي، تبعاً للحمل. وهي شائعة جداً في المراوح ومضخات الطرد المركزي وغيرها من التطبيقات حيث يزداد الحمل مع زيادة السرعة.

2.6.28 محرك المكثفة

محرك المكثفة هو محرك طور منزلق مع مكثفة لزيادة عزم الإقلاع وعزم التشغيل. وهذه المحركات هي أكثر أنواع المحركات استعمالاً في التطبيقات الزراعية، خاصة المحركات الصغيرة التي تقل استطاعتها عن 10 أحصنة بخارية.



الشكل 4.28 أنواع المحركات الكهربائية التي هي أكثر شيوعاً.

3.6.28 محرّك التنافر

يُستعمل هذا المحرّك للأحمال الصعبة الإقلاع. وثمة نوعان شائعان منه يقومان على التصميم الأساسي نفسه: إما إقلاع تنافري ودوران استحثاثي، أو إقلاع ودوران تنافريان. لكن استعمال المسافر [أو الفحمت، أي صفائح إدخال الكهرباء إلى الجزء الدوّار من المحرّك] وغيرها من الملحقات الإضافية يجعل المحركات التنافرية أعلى أنواع المحركات، ومع ذلك فإنها تتوفر بمجال واسع من المقاسات.

7.28 حماية المحرك من زيادة الحمل

صُمِّمت وسائل الحماية من زيادة الحمل (الفواصم وقواطع الدارات) التي توضع في لوحة التوزيع الرئيسية في مدخل المبنى بغية حماية الدارات من القِصر ومن الحمل الزائد. إن تيار إقلاع المحرك الكهربائي أكبر من تيار دورانه الطبيعي. يُضاف إلى ذلك أنه عندما يزداد حمل المحرك، فإنه يحاول الدوران حتى الوصول إلى عزم الإرتاج، أو إلى أن تنقطع الكهرباء عنه. وكلا الحالتين (أي حالة تيار الإقلاع الكبير وتيار الحمل الزائد الذي يؤدي إلى الإرتاج) يمكن أن تؤدي إلى إفراط في استجرار التيار من قبل المحرك. لذا يجب تصميم أدوات الحماية من زيادة الحمل بحيث تتحمل زيادات الحمل المؤقتة فقط، لأن الفواصم وقواطع الدارات العادية لا تحقق ذلك.

وعندما تحصل زيادة في حمل المحرك مدة طويلة أو على نحو متكرر، ترتفع درجة حرارته. لذا يتضمن بعض المحركات أداة حماية من زيادة الحمل تحمي المحرك من ارتفاع درجة حرارته. وتعمل هذه الأدوات وفقاً لمبدأ التسخين الناجم عن المقاومة. فنظراً إلى أن حاجة المحرك من التيار تزداد مع ازدياد الحمل، وإلى أن التسخين يكون أكبر كلما كان التيار المار في المقاومة أكبر، يمكن للمهندسين التنبؤ باللحظة التي تصل عندها درجة الحرارة إلى قيمة معينة، ومن ثمَّ تصميم وسيلة تحكم لفصل التيار عند تلك القيمة.

ثمة ثلاثة أنواع من حمايات المحركات تُستعمل للحماية من زيادة الحمل هي:

1. حماية حرارية مبنية ضمن المحرك: توجد هذه الوسيلة في كثير من المحركات على شكل جزء متكامل ضمنها. ويمكن أن تحتوي على إيقاف

وتشغيل للمحرك، آلي أو يدوي. فإذا كان النوع الآلي هو المستعمل، فإن الحماية تفصل الكهرباء عن المحرك عند وصول درجة الحرارة إلى قيمة تصميمية معينة، وعندما تنخفض درجة الحرارة بعد ذلك تعيد وصل الكهرباء إليه آلياً. يجب اعتماد هذا النوع من الحماية عندما يُستعمل المحرك في تطبيقات مهمة، مثل مراوح تهوية حظائر المواشي ومضخّات الزيت في المحركات. إلا أن هذه الأدوات الآلية يمكن أن تكون أكثر خطورة من الأدوات اليدوية لأنها تحاول إعادة تشغيل المحرك فوراً بعد انخفاض درجة حرارته. ففي أثناء الصيانة، إذا لم تُفصل التغذية الكهربائية عن المحرك قبل أن يشرع أحد بالعمل في صيانة الآلة، فإن المحرك، والآلة، يمكن أن يعملتا ثانية في أثناء الإصلاح وأن يؤدّيا إلى أضرار جسيمة. أما حين استعمال أداة إعادة تشغيل يدوية، فإن المحرك لا يعمل إلا بعد تشغيله يدوياً. حتى بوجود هذه الأداة، يجب فصل التغذية الكهربائية كلياً قبل الشروع بأي عمل صيانة وإصلاح للمحرك أو الآلة التي يُحرّكها.

2. مفتاح إقلاع يدوي مع حماية من زيادة الحمل: من الممكن أن يُضاف إلى المحرك مفتاح إقلاع يدوي مع حماية من الحمل الزائد من دون أن يتضمن حماية حرارية مبنية داخله. وهذه الأداة هي مفتاح متكامل مع تجهيزة حماية حرارية تقطع الدارة عندما ترتفع درجة حرارة المحرك. وهي تُشغّل يدوياً بغرض إعادة تشغيل المحرك.

3. مفتاح إقلاع مغنطيسي مع حماية من الحمل الزائد: مفاتيح الإقلاع المغنطيسية هي مفاتيح سريعة العمل وتُستعمل مع المحركات الكبيرة، وهي مزوّدة بأداة حرارية للحماية من زيادة الحمل تقطع الدارة إذا كان استرجار التيار مفرطاً. ويُعاد تشغيل هذه الأداة يدوياً.

8.28 لوحة تعريف المحرك

وضعت الرابطة الوطنية مصنّعي المحركات الكهربائية (الأميركية) نظاماً معيارياً لتعريف مواصفات المحرك المهمة. لا تحدّد المعايير شكلاً أو موضعاً للوحة التعريف، ويمكن ألاّ تحتوي كل اللوحات على المعلومات نفسها، إلاّ أنّها تتضمن المعلومات المهمة. انظر الشكل 5.28.

من المعلومات التي يمكن أن توجد على لوحات تعريف المحركات ما يلي:

المُصنّع: اسم الشركة المصنّعة وعنوانها لتوفير مصدر لمزيد من المعلومات.

الاستطاعة: استطاعة المحرك الاسمية التصميمية.

الرقم التسلسلي: يُدرج الرقم التسلسلي في اللوحة لتسهيل الحصول على قطع التبديل حين الحاجة إليها.

الهيكل: تُدرج في اللوحات أرقام معيارية للهيكل لضمان تبادلية وضعيات المحركات. إذا كان رقم الهيكل المستعمل متماثلاً في محركين، كانت أبعاد ثقب براغي التثبيت فيهما متماثلة.

السرعة: تُعطى السرعة بعدد الدورات في الدقيقة، وهي السرعة التي يعمل بها المحرك عند الحمل الكامل.

الطور: يشير هذا إلى كون المحرك وحيداً أو ثلاثي الطور.

درجة الحرارة: وهي درجة الحرارة العظمى للبيئة التي يمكن للمحرك أن يعمل ضمنها.

عامل الخدمة: يدل عامل الخدمة على حدود العمل الآمن للمحرك في ظروف التحميل الزائد. ويعني عامل الخدمة الذي يساوي 1.20 أنه يمكن تشغيل المحرك باستمرار مع زيادة في الحمل تساوي 20% من دون حصول عطب فيه.

حروف الرمز: تُستعمل هذه الحروف لتحديد مواصفات أداة الحماية من الحمل الزائد اللازمة للمحرك.

التردد: يدل هذا الرقم على تردد تيار منبع التغذية الكهربائية، ويتَّخذ القيمة 60 هرتس [في الولايات المتحدة أو 50 هرتس في بلدان أخرى].

مدة التشغيل: تُخصَّص المحركات إما للعمل المستمر أو للعمل المتقطع. فإذا كان توصيف المحرك للعمل المتقطع، فإن اللوحة يمكن أن تتضمن أيضاً المدة القصوى التي يمكن تشغيل المحرك خلالها باستمرار. وتجاوز تلك المدة يمكن أن يؤدي إلى زيادة حرارة المحرك.

الجهد: هو جهد عمل المحرك. وإذا تضمنت اللوحة قيمة جهد واحدة فقط، كان المحرك وحيد الجهد.

التيار: وهذه هي قيمة التيار الذي يحتاج إليه المحرك عند الحمل الكامل. وإذا تضمنت اللوحة رقمين، فإنهما يحدّدان التيارين المقترنين بالجهدين المنصوص عليهما في مواصفة الجهد. في الشكل 5.28، على سبيل المثال، التيار المدرج هو 3/6. وهذا يعني أنه حين تشغيل المحرك بالجهد 120 فولط، يكون تيار الحمل الكامل 6 أمبير، ويكون 3 أمبير إذا شُغِّل المحرك بالجهد 240 فولط.

معلومات الشركة	
3١1 حصان	الرقم التسلسلي: 432N5-A
الهيكل: 42	عدد الدورات: 1725
الطور: 1	درجة الحرارة: 35 درجة مئوية
عامل الخدمة: 1.2	الرمز: J
التردد: 60	عمل مستمر
الجهد: 240\120	التيار: 3١6

الشكل 5.28 لوحة تعريف المحرك والمعلومات التي تتضمنها.

الملاحق

الوحدات بالإنكليزية ومقابلاتها العربية

Ohm (Ω)	أوم	Mile (mi)	ميل
Acre (ac)	إيكر	Minute (min)	دقيقة
Ampere (amp)	أمبير	Newton (N)	نيوتن
Bushel (bu)	بُشِل	Ounce (oz)	أونصة
Day	يوم	Pascal (Pa)	باسكال
Decibel (db)	ديسيبل	Pint (pt)	باينت
Foot (ft)	قدم	Quart (qt)	كوارت
Gallon (gal)	غالون	Revolution (rev)	دورة
Hectare (ha)	هكتار	Ton (t)	طن
Hour (hr)	ساعة	Volt (V)	فولط
Inch (in)	إنش	Watt (W)	واط
Joule (J)	جول	Watt hour (Wh)	واط ساعة
Libra, Pound (lb)	ليبرة، باوند	Yard (yd)	ياردة

الملحق 1: تحويلات الوحدات العادية الأمريكية

الوحدة	الرمز	قيم التحويل			
1 Acre	ac	43,560 ft ³	160 rods ²		
1 British Thermal Unit	BTU	778.104 ft-lb	3.93 E - 4 hp-hr		
1 Bushel	bu	2,150.42 in ³	1.24446 ft ³	32 dry qt	
1 Foot	ft	12 in	0.3333 yd	6.061	
				E - 2 rod*	
1 Foot, cubic	ft ³	1728 in ³	29.9 qt, liquid	7.481 gal, liquid	0.04 yd ³
1 Bushel	Bu	2,150.42 in ³	32 qt, dry	1.24446 ft ³	
1 Foot-pound	ft-lb	3.239 E - 4 BTU	5.051 E - 7 hp/hr	3.766 E - 7 kW/hr	
1 Foot per second	ft/sec	0.68182 mi/hr	0.1667 ft/min		
1 Foot, square	ft ²	144 in ²	6.9 E - 3 yd ²	9.29 E - 2 M ²	
1 Gallon, liquid	gal	231 in ³	0.13368 ft ³	4 liquid qt	
1 Gallon, dry	Gal	268.8 in ³			
1 Horsepower	hp	550 ft-lb/sec	33,000 ft-lb/min		
1 Inch	in	8.333 E - 2 ft	2.3 E - 3 yd		
1 Kilowatt	kW	737.612 ft-lb/sec	1.34111 hp	0.94796 BTU/sec	
1 Kilowatt-hour	kWh	2,655,403 ft-lb	3,412.66 BTU	1,000 W/hr	
1 Mile	mi	63,360 in	5,280 ft	1,760 yd	320 rods
1 Mile per hour	mi/hr	1.46667 ft/sec	88.0 ft/min		
1 Pound per square foot	lb/ft ²	6.944 E - 3 lb/in ²			
1 Pound per cubic foot	lb/ft ³	5.787 E - 4 lb/in ³			
1 Quart, liquid	qt	57.75 in ³	2 pt	32 oz	3.342 E - 2 ft ³
1 Ton	T	2,000 lb			
1 Watt	W	0.73761 ft-lb/sec	9.48 E - 4 BTU/sec	1.341 E - 3 Hp	
1 Yard	yd	36.0 in	3.0 ft		
1 Yard, square	Yd ²	1,296 in ²	9.0 ft ²		
1 Yard, cubic	Yd ³	46,656 in ³	27 ft ³		

E - 4 is the same as $\times 10^{-4}$.

الملحق 2: التحويل من الوحدات العادية الأميركية إلى الوحدات

ضرب بـ	إلى	من	المقدار
تسارع	Acceleration		
آلية	Vehicle	(mile/h)/s	1.609344
عام	General	ft/s ²	0.3048
مساحة	Area		
عامة	General	in ²	0.00064516
		ft ²	0.09290304
أنبوب	Pipe	in ²	645.16
		in ²	6.4516
		ft ²	0.09290304
حقل	Field	acre	0.40469
مساحة الزمن	Area per time		
عمليات حقلية	Field operations	acre/h	0.4046873
استهلاك	Consumption	gal/h	3.785412
		lb/(hp-h)	608.2774
كثافة	Density (mass)		
منتجات زراعية عامة	General ag products	lb/yd ³	0.5932763
		lb/ft ³	16.01846
سائل	Liquid	lb/gal	0.1198264
كفاءة، وقود	Efficiency, fuel		
اليات طرقات سريعة	Highway vehicles	mile/gal	0.4151437
اليات طرقات داخلية	Off highway	hp-h/gal	0.1969931
طاقة	Energy		
حرارة	Heat	Btu	1.055056
استهلاك	Use	kWh	3.6
تدفق، حجم	Flow, Volume		
هواء	Air	ft ³ /s	0.02831685
		ft ³ /s	m ³ /min
سائل، عام	Liquid, general	gal/min	L/min
		gal/sec	L/s
وقود	Fuel	gal/h	L/h
نهر، جدول	River, channel	ft ³ /s	m ³ /s
قوة	Force		
دواسة، عتلة، عام	Pedal, lever, general	lbf	N
قضيب جر	Drawbar	lbf	kN
طول	Length		
		mile	1.609344
		rod	5.029210
		yd	0.9144
		ft	0.3048
		in	2.54
		in	25.4
كتلة، عام	Mass, general	lb	0.4535924
		oz	28.34952
		t	0.90719
استطاعة	Power		
تدفقة	Heating	Btu/min	W
		Btu/h	W
محرك	Engine	Hp	0.7456999

يتبع

تابع الملحق 2.

ضرب بـ	إلى	من	المقدار
6.894757	kPa	lb/in ²	Pressure ضغط
0.04788026	kPa	lb/ft ²	
3.37685	kPa	inHg	
0.24884	kPa	inH ₂ O	
$t_F - 32$	°C	°F	Temperature درجة حرارة
1.8			
1.355818	n-m	lbf	Torque عزم
0.112984		lbin	
1.609344	km/h	mile/h	Velocity, linear سرعة انسحابية
0.3048	m/s	ft/s	
25.4	mm/s	in/s	
0.7645549	m ³	yd ³	Volume حجم
0.02831685	m ³	ft ³	
35.23907	L	bushel	
0.01638706	L	in ³	
3.78412	L	gal	
0.8327	gal (imperial)	gal	
0.9463529	L	qt	
1233.489	m ³	acre-ft	
0.03523907	m ³	bushel	
9.353958	L/ha	gal/acre	Volume/area حجم/مساحة

الملحق 3: تقديرات المفاقيد الكلية.

المحصول	بذرة/قدم ² = بُشِل/إيكر	بذرة/متر ² = 50 كيلو غرام/هكتار
فصّة	303	2426
شعير	14	140
فاصولياء، كلية حمراء	1.4	11
فاصولياء، بيضاء	4	32
كانولا	115	1063
ذرة	2	17
كتان	1800	15444
شوفان	11	165
رز	30	320
شيلم	22	189
ذرة سكرية	21	180
فول الصويا	4	32
قمح	19	152

الملحق 4: مبرنود وسرعة الآلات الزراعية الشائعة وعصرها التقني وعوامل إصلاحها.

الآلة	المردود الحثي		السرعة الحثية				العمر التقديري		عوامل الإصلاح	
	% المحلث	% الشئح	المحاث (m/hr)	الشئح (m/hr)	المحاث (km/hr)	الشئح (km/hr)	hr	1	2	
2 wheel drive and stationary دفع بدو اثنين وثلاثية 4 wheel drive and crawler دفع رباعي التوالت وثلاثية							12,000 16,000	0.007 0.003	2.0 2.0	
حرارات										
محرك ذو فلاتية قوس اعسل شلقة مسحاة اقرص متبادرة محرك ذو سكة (Coulters) Chisel plow عراقة (مسقلة) حقلية مسحاة اسنان نابضية Spring tooth harrow رولر باكر رزمة مخلت نابضية Mulcher-pecker محركة دارة عراقة نثات كفية Row crop cultivator محرك توير Row crop planter زراطة نثات كفية عراقة حثوب Grain drill	70-90 70-90 70-90 70-90 70-90 70-90 70-90 70-90 70-90 70-90 70-90 70-85 70-90 70-90 50-75 50-75 55-80	85 85 80 85 85 85 85 85 85 80 80 85 80 85 65 65 70	3.0-6.0 3.5-6.0 4.0-7.0 4.0-6.5 5.0-8.0 5.0-8.0 4.5-7.5 4.0-7.0 8.0-14.0 3.0-7.0 1.0-4.5 4.0-7.0 4.0-7.0	4.5 4.5 6.0 5.0 7.0 7.0 6.0 5.0 12.0 5.0 3.0 5.5 5.0	5.0-10.0 5.5-10.0 6.5-11.0 6.5-10.5 8.0-13.0 8.0-13.0 7.0-12.0 6.5-11.0 13.0-22.5 5.0-11.0 2.0-7.0 6.5-11.0 6.5-11.0	7.0 7.0 10.0 8.0 11.0 11.0 10.0 8.0 19.0 8.0 5.0 9.0 8.0	2,000 2,000 2,000 2,000 2,000 2,000 2,000 2,000 2,000 2,000 1,500 1,500 1,500	0.29 0.18 0.18 0.28 0.27 0.27 0.27 0.16 0.23 0.17 0.36 0.32 0.32	1.8 1.7 1.7 1.4 1.4 1.4 1.3 1.3 1.4 2.2 2.0 2.1 2.1	
فلف وحصلة										
Corn picker sheller قشارة وثلاثية دارة Combine حصلة Combine* حصلة* Mower خرازة Mower (rotary) خرازة (دورة) Mower-conditioner خرازة مسقلة Mower-conditioner (rotary) خرازة مسقلة (دورة)	60-75 60-75 65-80 65-80 75-85 75-90 75-85 75-90 75-85 75-90 75-90	65 65 70 80 80 80 80 80 80 80 80	2.0-4.0 2.0-5.0 2.0-5.0 3.0-6.0 3.0-6.0 5.0-12.0 3.0-6.0 5.0-12.0	2.5 3.0 3.0 5.0 5.0 7.0 5.0 7.0	3.0-6.5 3.0-6.5 3.0-6.5 5.0-10.0 5.0-10.0 8.0-19.0 5.0-10.0 8.0-19.0	4.0 5.0 5.0 8.0 8.0 11.0 8.0 11.0	2,000 2,000 3,000 2,000 2,000 2,000 2,500 2,500	0.14 0.12 0.04 0.46 0.44 0.44 0.18 0.16	2.3 2.3 2.0 1.7 2.0 2.0 1.6 2.0	

متابع

تابع الملحق 4.

الآلة	المردود الحقلی		السرعة الحقلیة			العمر التقدری	عامل الإصلاح		
	% المجال	% الشئع	المجال (mi/hr)	الشئع (mi/hr)	المجال (km/hr)		الشئع (km/hr)	1	2
مخفف هوائی *	70-85	80	3.0-8.0	5.0	5.0-13.0	8.0	3,000	0.06	2.0
مشط إخلاء جانبی	70-90	80	4.0-8.0	6.0	6.5-13.0	10.0	2,500	0.17	1.4
رأمة مستطیلة	60-85	75	2.5-6.0	4.0	4.0-10.0	6.5	2,000	0.23	1.8
رأمة مستطیلة كبیرة	70-90	80	4.0-8.0	5.0	6.5-13.0	8.0	3,000	0.10	1.8
رأمة أسطوانیة كبیرة	55-75	65	3.0-8.0	5.0	5.0-13.0	8.0	1,500	0.43	1.8
حصادة علف	60-85	70	1.5-5.0	3.0	2.5-8.0	5.0	2,500	0.15	1.6
حصادة علف	60-85	70	1.5-6.0	3.5	2.5-10.0	5.5	4,000	0.03	2.0
حصادة شمنتر سكری	50-70	60	4.0-6.0	5.0	6.5-10.0	8.0	1,500	0.59	1.3
حصادة بطاطا	55-70	60	1.5-4.0	2.5	2.5-6.5	4.0	2,500	0.19	1.4
لقاطة قطن	60-75	70	2.0-4.0	3.0	3.0-6.0	4.5	3,000	0.11	1.8
ناشر سماد	60-80	70	5.0-10.0	7.0	8.0-16.0	11.0	1,200	0.63	1.3
رشاش ذو ذراع	50-80	65	3.0-7.0	6.5	5.0-11.5	10.5	1,500	0.41	1.3
رشاش بالحمل الهوائی	55-70	60	2.0-5.0	3.0	3.0-8.0	5.0	2,000	0.20	1.6
قلاعة ومخففة قاصولیا	70-90	80	4.0-7.0	5.0	6.5-11.5	8.0	2,000	0.20	1.6
قصاصة شمنتر / سيقان	70-90	80	4.0-7.0	5.0	6.5-11.5	8.0	1,200	0.28	1.4
نفاثة علف							1,500	0.22	1.8
عربة علف							2,000	0.16	1.6
عربة							3,000	0.19	1.3

* آلة ذاتية الدفع

الملحق 5: المتوسطات التفرعية ومجالها المتوقع وفقا لتقديرات نموذج آلات الحراثة والبنار*.

الآلة	العرض (وحدات)	وحدات متفرجة			العرض (وحدات)	وحدات إنكليزية			متوسطات التربة			المجال ±%
		متوسطات الآلة				متوسطات الآلة						
		C ₁	C ₂	C ₃		C ₁	C ₂	C ₃	F ₁	F ₂	F ₃	
		أدوات الحراثة الرئيسية										
Moldboard plow	m	652	0.0	5.1	ft	113	0.0	2.3	1.0	0.70	0.45	40
Chisel plow												
Straight point	tools	91	5.4	0.0	tools	52	4.9	0.0	1.0	0.85	0.65	50
Shovel or sweep	tools	107	6.3	0.0	tools	61	5.8	0.0	1.0	0.85	0.65	50
Twisted shovel	tools	123	7.3	0.0	tools	70	6.7	0.0	1.0	0.85	0.65	50
محراث جراف												
Sweep plow												
Primary tillage	m	390	19.0	0.0	ft	68	5.2	0.0	1.0	0.85	0.65	45
حراثة ثانوية	m	273	13.3	0.0	ft	48	3.7	0.0	1.0	0.85	0.65	35
Secondary tillage												
Disk harrow, tandem												
حراثة رئيسية	m	3.9	16.0	0.0	ft	53	4.6	0.0	1.0	0.88	0.78	50
Primary tillage	m	216	11.2	0.0	ft	37	3.2	0.0	1.0	0.88	0.78	30
حراثة ثانوية												
مسحاة قرصية، إزالة												
Disk harrow, offset												
حراثة رئيسية	m	364	18.8	0.0	ft	62	5.4	0.0	1.0	0.88	0.78	50
Primary tillage	m	254	13.2	0.0	ft	44	3.8	0.0	1.0	0.88	0.78	30
حراثة ثانوية												
Field cultivator												
حراثة خطية												
Primary tillage	tools	46	2.8	0.0	tools	26	2.5	0.0	1.0	0.85	0.65	30
حراثة رئيسية	tools	32	1.9	0.0	tools	19	1.8	0.0	1.0	0.85	0.65	25
حراثة ثانوية												
Row crop cultivator												
شبكة S	rows	140	7.0	0.0	rows	80	6.4	0.0	1.0	0.85	0.65	15
سائق C	rows	260	13.0	0.0	rows	248	19.9	0.0	1.0	0.85	0.65	20
من دون حراثة	rows	435	21.8	0.0	rows	248	19.9	0.0	1.0	0.85	0.65	20

مصادر

تابع الملحق 5.

الآلة	العرض (وحدات)	وحدات مترية موسطات الآلة			العرض (وحدات)	وحدات إنكليزية موسطات الآلة			موسطات التربة			%± المحال	
		C ₁	C ₂	C ₃		C ₁	C ₂	C ₃	F ₁	F ₂	F ₃		
آلات بذار													
عَرَافَة دَوَّارَة	m	600	0.0	0.0	أدوات الحرثة الثقوبية	41	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	30	
مسحاة شوكة ملفوفة	m	250	0.0	0.0	ft	17	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	20	
مسحاة أسنان نابضية	m	2,000	0.0	0.0	ft	135	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	35	
مسطوي أرض	m	8,000	0.0	0.0	ft	550	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	45	
زراعة نباتات كثيفة													
Row crop planter	rows	500	0.0	0.0	rows	110	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	25	
محمولة	rows	900	0.0	0.0	rows	200	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	25	
محروزة	rows	3,400	0.0	0.0	rows	765	0.0	0.0	1.0	0.94	0.82	35	
زراعة نباتات كثيفة، دون حرثة	rows	400	0.0	0.0	rows	90	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	25	
ثلاثة سكك، صفوف	rows	300	0.0	0.0	rows	67	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	25	
عَرَافَة جُوب / دواليب كبس	rows	200	0.0	0.0	rows	25	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	25	
Grain drill w/press wheels	rows	720	0.0	0.0	rows	160	0.0	0.0	1.0	0.92	0.79	35	
< 8 قدم	rows	6,100	0.0	0.0	ft	420	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	50	
8 ft to 12 ft	rows	2,900	0.0	0.0	ft	200	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	50	
> 12 قدم	rows	3,700	0.0	0.0	ft	250	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	50	
عَرَافَة جُوب، دون حرثة	rows												
Grain drill, no-till	rows												
حطارة عرق	rows												
Hoe drill	rows												
حرثة رئيسية	m												
حرثة ثانوية	m												
حطارة هواء مضغوط	m												

* مقاييس الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين والحيويين ASABE، 1997. وتتضمن المقاييس معلومات عن آلات أخرى.

الملحق 6: معدلات إنتاج فضلات الحيوانات الجافة وخراصمها.

المحتوى من المغذيات													
الحيوان	وزن الحيوان		الإنتاج		Water (% WB)	الكثافة		تتروجن		بروتينيوم		فسفور	
	(lb)	(kg*)	(lb/day)	(kg/day)		(lb/ft ³)	(kg/m ³)	(lb/day)	(kg/day)	(lb/day)	(kg/day)	(lb/day)	(kg/day)
بقرة حلب	150	68	12.0	5.4	87.3	62.0	993	0.06	0.0272	0.010	0.0045	0.04	0.0181
	250	113	20.0	9.1	87.3	62.0	993	0.10	0.0454	0.020	0.0091	0.07	0.0318
	500	227	41.0	18	87.3	62.0	993	0.20	0.0907	0.036	0.0163	0.14	0.0635
	1000	454	82.0	37	87.3	62.0	993	0.14	0.0635	0.073	0.0331	0.27	0.1225
	1400	635	115.0	52	87.3	62.0	993	0.57	0.2586	0.102	0.0463	0.38	0.1724
عجل لحم	500	227	30.0	14	88.4	60.0	961	0.17	0.0771	0.056	0.0254	0.12	0.0544
	750	340	45.0	20	88.4	60.0	961	0.26	0.1179	0.084	0.0381	0.19	0.0862
	1000	454	60.0	27	88.4	60.0	961	0.34	0.1542	0.110	0.0499	0.24	0.1089
خنزير ولد	1250	567	75.0	34	88.4	60.0	961	0.43	0.1950	0.140	0.0635	0.31	0.1406
	35	16	2.3	1.0	90.8	60.0	961	0.016	0.0073	0.0052	0.0024	0.010	0.0045
	65	29	4.2	1.9	90.8	60.0	961	0.029	0.0132	0.0098	0.0044	0.020	0.0091
خنزير ناضج	150	68	9.8	4.4	90.8	60.0	961	0.068	0.0308	0.022	0.0100	0.045	0.0204
خنزير مسن	200	91	13.0	5.9	90.8	60.0	961	0.090	0.0408	0.030	0.0136	0.059	0.0268
خنزيرة حامل	275	125	8.9	4.0	90.8	60.0	961	0.062	0.0281	0.021	0.0095	0.040	0.0181
Gestating sow	375	170	11.0	5.0	90.8	60.0	961	0.23	0.1043	0.076	0.0345	0.15	0.0680
خنزير بري	330	159	11.0	5.0	90.8	60.0	961	0.078	0.0354	0.026	0.0118	0.051	0.0231
Sheep	100	45	4.0	1.8	75.0	65.0	1041	0.045	0.0204	0.0066	0.003	0.032	0.0145
خروف	4	1.8	0.21	0.10	74.8	60.0	961	0.0029	0.0013	0.0011	0.0005	0.0012	0.0005
لحاجية بيضاء	2	0.9	0.14	0.06	74.8	60.0	961	0.0024	0.0011	0.00054	0.0002	0.00075	0.0003
فروج	1000	454	45.0	20	79.5	60.0	961	0.27	0.1225	0.0460	0.0209	0.1700	0.0771
حاصل													

* تحويل ملابشر: 1 lb = 0.453924 kg

الملحق 7: استهلاك المحاصيل النباتية للمغذيات*.

المحصول	الإنتاجية	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		
		lb/ac	kg/ha	lb/ac	kg/ha	lb/ac	kg/ha	
ذرة Corn	150 bu/ac	3.82 Mg/ha	185	207	80	90	215	241
	180 bu/ac	4.58 Mg/ha	240	269	100	112	240	269
ذرة علف Corn silage	32 tons	72 t/ha	200	224	80	90	245	274
فول الصويا Soybeans	50 bu/ac	1.36 Mg/ha	257	288	48	54	120	134
	60 bu/ac	1.64 Mg/ha	336	376	65	73	145	162
ذرة سكرية Grain sorghum	8,000 lb/ac	3.64 Mg/ha	250	280	90	100	200	224
قمح Wheat	60 bu/ac	1.36 Mg/ha	125	140	50	56	110	123
	80 bu/ac	2.18 Mg/ha	186	208	54	60	162	181
شوفان Oats	100 bu/ac	1.45 Mg/ha	150	168	55	62	150	168
شعير Barley	100 bu/ac	2.18 Mg/ha	150	168	55	62	150	168
فصة Alfalfa	8 tons	18 t/ha	450	504	80	90	480	538
عشب البستان Orchard grass	6 tons	13 t/ha	300	336	100	112	375	420
عشب شوفان Brome grass	5 tons	11 t/ha	166	186	66	74	254	284
عشب طويل رفيع Tall fescue	3.5 tons	8 t/ha	125	140	65	73	185	207
عشب أزرق Bluegrass	3 tons	7 t/ha	200	224	55	62	180	202

المصدر: اقتُبست القيم ذات الوحدات العرفية من:

Structures and Environment Handbook, MWPS-1, 11th edition, revised 1987, Midwest Plan Service, Ames, IA 50011-3080.

* نتجت القيم المترية بالتحويل المباشر والتدوير إلى أقرب وحدة نامية.

الملحق 8: معدل النشر السنوي الأعظمي للفوسفور تبعا لنوع التربة.

		PH			
نوع التربة	صلصال%	6.0 to 7.5		<6.0 or >7.5	
رملية Sandy	<10	300	336 kg/ha	300 lb/ac	336 kg/ha
دُبالية وطمينية خشنَة Coarse-loamy and Coarse-silty	11–18	400 lb/ac	448 kg/ha	500 lb/ac	560 kg/ha
دُبالية وطمينية ناعمة Fine-loamy and Fine-silty	19–35	450 lb/ac	504 kg/ha	600 lb/ac	672 kg/ha
ناعمة Fine	36–60	500 lb/ac	560 kg/ha	750 lb/ac	840 kg/ha
ناعمة جدا Very fine	>60	500 lb/ac	560 kg/ha	750 lb/ac	840 kg/ha
دُبالية – ناعمة جدا Loamy-skeletal	15–35	150 lb/ac	168 kg/ha	200 lb/ac	224 kg/ha
صلصالية – ناعمة جدا Clayey-skeletal	>35	250 lb/ac	280 kg/ha	350 lb/ac	392 kg/ha

الملحق 9: خواص العزل الحراري لمواد بناء مختلفة.

المادة	السماكة	الكثافة (Lb/ft ³)	المقاومة	
			للإنش °F ft ² h/BTU	الوصف
لوح بناء		120	0.25	
أسبستوس-إسمنت	0.375 in	50		0.32
جص أو بلاستر	0.5 in	50		0.45
	0.625 in	50		0.56
صفائح خشبية		34	1.25	
لوح الألياف خضار				
تغليف، كثافة نظامية	0.5 in	18		1.32
تغليف، كثافة متوسطة	0.5 in	22		1.09
لوح تخميد صوت	0.5 in	15		1.35
لوح ورقي مصفوح		30	2.00	
لوح قاسي				
كثافة متوسطة		50	1.37	
كثافة عالية		55	1.22	
لوح خشب مضغوط				
كثافة منخفضة		37	1.41	
كثافة متوسطة		50	1.06	
كثافة عالية		62	1.18	
طبقة تحتية	0.625 in	40	1.22	
لوح رفائق		37	1.59	
أرضية تحتية خشبية	0.75 in			0.94
عشاء بناء				
لبادة نفوذة ليخار الماء				0.06
كاتم تسرب بخار، طبقتان من لبادة مسح 15				0.12
لبيرة				
مواد إنهاء أرضيات				
سجادة وطراحة من الألياف				2.08
سجادة وطراحة من المطاط				1.23
بلاطة من القلين	0.125 in			0.28
أرضية شرائح رخام	1 in			0.08
بلاطة أسفلت، لينوليوم، فينيل، مطاط				0.05
مواد عازلة				
بطانية أو لبادة من الألياف، ألياف معدنية				
مصنوعة من الصخر، خبث أو زجاج				
	3-4 in	0.4-2.0		11.0
	3.5 in	0.4-2.0		13.0
	3.5 in	1.2-1.6		15.0
	5.5-6.5 in	0.4-2.0		19.0
ألواح وبلاطات				
زجاج خلوي		8.0		
ليف زجاجي		4.0-9.0	4.0	
برليت منفوخ		1.0	2.78	
مطاط منفوخ		4.5	4.55	
بوليستيرين منفوخ، مبثوق، ناعم		1.8-3.5 in	5.00	
بوليستيرين، فقاعات مقولبة		1.0	3.85	
		1.25	4.00	
		1.5	4.17	
		1.75	4.17	

متابع

تابع الملحق 9.

الوصف	للأنش °F ft ² h/BTU	الكثافة (Lb/ft ³)	السماكة	المادة	المقاومة
	6.25-5.56	1.5		بولي أوريثان/ بوليسوسيانوريت خلويان	
	8.20	3.0		بوليفينوليك خلوي، خلية مغلقة	
				لوح أللياف معدنية	
	2.94	16- 17		عزل سقف أو فجوات	
	2.86	18.0		بلاطة صوتية	
	2.70	21.0			
				بلاطة أللياف إسمنتية	
	2.0-1.89	25.0-27.0		خشب مع رابط إسمنتى	
	1.75	22.0		خشب مع رابط مغنيز أكسيد الكبريت	
				حشوة غير محبوكة	
	3.7-3.13	2.3-3.2		سللوز	
	3.7-3.3	2.0-4.1		برلايت منفوخ	
	3.3-2.8	4.1-7.4			
	2.8-2.4	7.4-11.0			
				أللياف معدنية (صخرية، خبثية، زجاجية)	
		0.6-2.0	3.75-5 in		11.0
		0.6-2.0	6.5-8.75 in		19.0
		0.6-2.0	7.5-10.0 in		22.0
	2.13	7.0-8.2		فريمكولايت، قشور	
	2.27	4.0-6.0			
				طلاء	
	6.25-5.56	1.5-2.5		رغوة بولي أوريثان	
	4.53-3.57	0.7-1.6		أوريا فورمالديهايد	
	3.45-2.94	3.5-6.0		أللياف سللوزية	
	3.85-3.70	3.5-4.5		أللياف زجاجية	
				مواد أسقف	
		120		ألواح خشب مغطاة بالأسبستوس والإسمنت	0.21
		70		ألفاق أسفلت	0.15
		70		ألواح خشب مغطاة بالأسفلت	0.44
			0.5 in	أردواز	0.05
				ألواح خشب	0.94
				مواد طلاء بلاستيرية	
	0.20	116		بلاستر حصويات رمل مع إسمنت	
				بلاستر جص	
		45	0.5 in	حصويات خفيفة	.32
		45	0.625 in	حصويات ثقيلة	.39
				لبينات بناء	
	0.12-0.10	150		أجر، صلصال مشوي	
	0.16-0.12	130			
	0.18-0.15	120			
	0.24-0.20	100			
	0.33-0.27	80			
				بلاطات صلصال، جوفاء	
			3 in	عمق بمقدار خلية واحدة	0.80
			4 in		1.11
			6 in	عمق بمقدار خليتين	1.52
			10 in		2.22
			12 in	عمق بمقدار ثلاث خلايا	2.50

متابع

تابع الملحق 9.

المقاومة				
المادة	السماكة	الكثافة (Lb/ft ³)	للإنش °F ft ² h/BTU	الوصف
لبينات إسمنت				
حصويات وزن عادي				1.11-0.97
8 إنش، 36-33 ليبرة				2.0
مع فجوات مملوءة بالبرلايت				1.92-1.37
مع فجوات مملوءة بالفيرميكلولايت				1.23
12 إنش، 50 ليبرة، فجوات				
حصويات خفيفة الوزن				1.93-1.65
6 إنش، 17-16 ليبرة				4.2
مع فجوات مملوءة بالبرلايت				3.0
مع فجوات مملوءة بالفيرميكلولايت				3.2-1.90
8 إنش، 22-19 ليبرة				6.8-4.4
مع فجوات مملوءة بالبرلايت				5.3-3.9
مع فجوات مملوءة بالفيرميكلولايت				2.6-2.3
12 إنش، 36-32 ليبرة				9.2-6.3
مع فجوات مملوءة بالبرلايت				5.8
مع فجوات مملوءة بالفيرميكلولايت				
حجر، جير، رمل		180	0.01	
		160	0.02	
		140	0.04	
		120	0.08	
		180	0.03	
		160	0.05	
		140	0.06	
		120	0.09	
		100	0.13	
خشب				
خشب قلبي				
سنديان		41.2-46.8	0.89-0.80	
بتولا		42.6-45.4	0.87-0.82	
قيقب		39.8-44.0	0.92-0.84	
دردار		38.4-41.9	0.94-0.88	
خشب طري				
صنوبر		35.6-41.2	1.00-0.89	
شوح		33.5-36.3	1.06-0.99	
سرو		31.4-32.1	1.11-1.09	
أرز		21.7-31.4	1.48-1.11	
خشب أحمر		24.5-28.0	1.35-1.22	
نواقد				
زجاج مفرد				0.06
نواقد العواصف				1.15
زجاج عازل، فجوة هوائية ¼ إنش				
ثنائي الألواح				0.84
ثلاثي الألواح				1.71
فجوة هوائية، ¾ إنش				0.90

متابع

تابع الملحق 9.

المادة	السماكة	الكثافة (Lb/ft ³)	المقاومة	
			للإنش °F ft ² h/BTU	الوصف
سطوح				
داخلية				0.68
خارجية				0.17
أرضية				
بلاطة خرسانية على الأرض				1.23
بلاطة إسمنتية تحتها عازل				2.22

¹ التحويل إلى وحدات SI، $R_{SI} = 5.678 R_{cst}$ و R_{SI} هي في وحدات $\frac{KJ}{^{\circ}C m^2 h}$. أما R_{cst} فهي في وحدات $\frac{BTU}{^{\circ}F ft^2 h}$

^b مقتبس من: *Introduction to Agricultural Engineering*, 2nd edition

الملحق 10: الرطوبة والحرارة المتولدتان¹.

الحيوان	الرطوبة ² (lb water/hr)	الحرارة ³ (BTU/hr)
خنزير		
10 - 50 ليبرة	0.065	174.0
50 - 100 ليبرة	0.177	240.0
100 - 200 ليبرة	0.219	354.0
فروج		
1.5 - 0.22 ليبرة	0.0079	12.4
1.5 - 3.5 ليبرة	0.0110	18.7
ديك رومي		
1 ليبرة	0.0059	10.8
2 ليبرة	0.0025	9.8
بقرة حلوب	1.196	1917.0
تجهيزات		
مصباح كهربائي حراري		BTU/hr-watt 3.4
مصباح فلورسنت		BTU/hr-watt 4.1
محرك كهربائي		BTU/hr-hp 4000

¹ أقتبس بعد الموافقة من: Structures and Environment

Handbook, MWPS-1, 11th edition, revised 1987,

Midwest Plan Service, Ames, IA 50011-3080

² تتغير الرطوبة والحرارة المتحريتان من الحيوانات مع تغير درجة حرارة الهواء. والقيم المعطاة هي قيم وسطى.

الملحق 11: إجهاد الألياف المسموح به.

إجهاد الألياف المسموح به [°] (lb/in ²)	المقاس		الدرجة	الاستعمال
	العرض	السماكة		
شوح (19% رطوبة)				
أطر إنشائية خفيفة				
1200	2"-4"	2"-4"	إنشائي انتقائي	
1050			رقم 1	
850			رقم 2	
625	4"	2"-4"	بناء	
350			مُعْتَمَد	
175			بديل	
صنوبر (19% رطوبة)				
إطر إنشائية خفيفة				
1150	2"-4"	2"-4"	إنشائي انتقائي	
1000			رقم 1	
825			رقم 2	
450			وند	
600	4"	2"-4"	بناء	
350			مُعْتَمَد	
150			بديل	

* في حالة الخشب المقرّر الذي تساوي رطوبته 15%، اضرب قيم الإجهاد المسموح به بـ 1.08.

أقتبس بعد الموافقة من: Structures and Environment Handbook, MWPS-1, 11th edition, revised

1987, Midwest Plan Service, Ames, IA 50011-3080

الملحق 12: مقاومة السلك النحاسي (أوم لكل 1000 قدم).

مقاومة (Ohms/1.000 ft)	مقاس السلك (AWG)
16.46	22
10.38	20
6.51	18
4.09	16
2.58	14
1.62	12
1.02	10
0.64	8
0.41	6
0.26	4
0.16	2
0.10	0

الملحق 13: مقاومة السلك النحاسي (أوم لكل 100 متر).

مقاومة (Ohms/100 m)	مقاس السلك (mm ²)
1.073	1.5
0.676	2.5
0.423	4.0

الملحق 14: مقاسات الأسلاك النحاسية، 120 فولط، طور واحد، هبوط جهد 2%.

القلنس الأصفرى الموسوج به														
طول السلك (قدم)														
قارن القلنس المبين في الأمثل مع القلنس الأصفرى الموسوج به واستعمل القلنس الأكبر														
الحمل														
أسلاك معلقة في الكيل والمجارى والأرض														
في الكيل والمجارى والأرض														
أسلاك معلقة في الجوارى وأسطح														
500	450	400	350	300	275	225	200	175	150	125	100	75	50	
6	6	6	6	8	8	8	10	10	10	12	12	14	14	10
4	4	6	6	6	8	8	8	10	10	12	12	14	14	10
3	4	4	4	4	6	6	8	8	8	10	12	12	12	10
2	2	2	3	4	4	4	6	6	6	8	10	12	12	10
0	1	1	2	3	3	4	4	6	6	6	8	10	10	10

الملحق 15: مقاسات الأسلاك النحاسية، 240 فولط، طور واحد، هيرط جـ 2%.

المقاس الأصغري المسموح به																		
طول السلك (قدم)																		
قارن المقاس المبين في الأسفل مع المقاس الأصغري المسموح به واستعمل المقاس الأكبر																		
أسلاك معلقة في الكابل والمحاري والأرض																		
الهواء عازلية ومعلقة																		
R _H , R _{HW} , T _{HW} R _T , T _W																		
الحمل																		
500	450	400	350	300	275	225	200	175	150	125	100	75	50					
6	8	8	10	10	12	12	12	12	14	14	14	14	14	10	14	14	14	5
6	6	8	8	10	10	10	12	12	12	14	14	14	14	10	14	14	14	7
4	6	6	6	8	10	10	10	10	12	12	14	14	14	10	14	14	14	10
2	4	4	4	6	8	8	8	8	10	10	12	12	14	10	14	14	14	15
2	2	4	4	4	6	6	6	8	8	8	10	12	12	10	12	12	12	20

الثبت التعريفي

حراثة رئيسية (Primary Tillage): حراثة التربة التي تقلبها وتبعثرها كلياً لإضعاف تماسكها وإرخاء ارتصاصها، وتخلطها مع البقايا النباتية.

حرارة البُصيلة الجافة (Dry-Bulb Temperature): هي درجة حرارة الهواء التي تُقاس بواسطة مقياس درجة حرارة معرّض للهواء من دون عوائق وبعيداً عن أي إشعاعات أو رطوبة.

حرارة البُصيلة المبلولة (Wet-Bulb Temperature): هي درجة حرارة كمية من الهواء حين تبريدها إلى درجة التشبع (رطوبة نسبية تساوي 100%). وهي أدنى درجة حرارة يمكن تحقيقها ضمن ظروف البيئة المحيطة بتبخير الماء فقط، وهي التي يشعر بها المرء عندما تكون بشرته مبلولة وعرضة لتيار هواء متحرك.

حوض السيل (Watershed): المنطقة التي تحتضن حوض سيل الأمطار عازلة إياه عن الأحواض المائية المجاورة التي من قبيل السيول والأنهار والبحيرات وما شابهها.

خلية قياس الحمل (Load Cell): مُحسّن يُستعمل لتحويل القوة إلى إشارة كهربية بغية قياسها ومعرفة مقدار القوة من خلالها.

ديسبيل (Decibel): وحدة قياس شدة الصوت أو استطاعة الإشارة الكهربائية بمقارنتها بإشارة مرجعية معروفة. ويُعبّر بها عن لوغاريتم نسبة القيمتين.

ري أخدودي (Furrow Irrigation): سقاية الأرض بقنوات ماء مكوّنة بين صفوف النباتات.

قدم عشرية (Decimal Feet): هي وحدة الطول المعروفة في منظومة القياس العرفية، لكن يُعبّر عنها بقيمة كسرية عشرية بدلاً من الإنش وأجزائه.

قراءة أمامية (Foresight Reading): في الأعمال المساحية التي تُجرى بواسطة المنظار والمسطرة المدرّجة، القراءة الأمامية هي القراءة التي تُؤخذ لتحديد ارتفاع النقطة التي توضع المسطرة عليها.

قراءة خلفية (Backsight): في الأعمال المساحية التي تُجرى بواسطة المنظار والمسطرة المدرّجة، القراءة الخلفية هي القراءة التي تُؤخذ حين وضع المنظار في نقطة جديدة ووضع المسطرة في النقطة السابقة التي كان المنظار فيها والتي يُعرف ارتفاعها.

قضيب جر (Draw Bar): قضيب ناتئ من خلف جرار أو سيارة لقطر عربة أو آلية أخرى. ويكون مزوداً عادة بنوابض لامتناس الصدمات الناجمة عن عدم انتظام حركة العربة أو الآلية المقطورة.

مجموعة نقل الحركة (Power Train): الآلية المكوّنة من المحاور والمسننات وما شابهها التي تقوم بنقل الحركة الدورانية في محرّك إلى محور تدوير ما (محور الدوايب في السيارة مثلاً).

محتوى حراري (Enthalpy): الطاقة الحرارية الكلية في المنظومة.

محور التدوير الخلفي (Power Take-Off (PTO): أو مأخذ الاستطاعة، محور متصل بمحرك الجرار بواسطة آلية نقل حركة ويُستعمل لتوفير استطاعة ميكانيكية تُشغّل آلة منفصلة من قبيل مضخة أو مسحاة أو زراعة وما شابهها.

مداري (Tropical): صفة المناطق من الكرة الأرضية الواقعة بين مدار السرطان عند خط العرض $23^{\circ}27'$ شمال خط الاستواء ، ومدار الجدي عند خط العرض $23^{\circ}27'$ جنوب خط الاستواء، وتتميّز بمناخها الحار عموماً.

معادلة معدل السيل الأعظمي (Rational Formula): صيغة مبسّطة وُضعت

في القرن التاسع عشر لتقدير معدّل السيل الأعظمي نقطة.

منسوب تفاضلي (Differential Level): الفرق بين ارتفاعي (منسوبيّ) نقطتين.

ناقل حلزوني (Screw Conveyor): أنبوب تُثقل عبره المواد بفعل دوران جناح حلزوني ملفوف على محور ممتد على طول الأنبوب.

ناقل هوائي (Pneumatic Conveyor): أنبوب تُثقل عبره مواد مسحوقة من قبيل الإسمنت أو حُبَيْبِيَّة من قبيل القمح والذرة بواسطة تيار هوائي.

نباتات صفيّة (Row Crops): النباتات التي تُزرع في صفوف طويلة متوازية تفصل بينها مسافات كافية لتخديمها.

نقطة انتقالية (Turning Point): في الأعمال المساحية، هي نقطة مرجعية وسيطة بين نقاط مرجعية رئيسية لا يوجد بينها خط نظر.

ثبت المصطلحات

Power Train	آلية نقل الحركة
Rated Power	استطاعة اسمية
Seeder	بذارة
Auger	بريمة
Orchard	بستان أشجار مثمرة
Tractor	جرار
Primary Tillage	حراثة رئيسية
Watershed	حوض السيل
Loam	دُبَال
Sprocket	دولاب مسنن
Decibel	ديسيبل
Baler	رَّامة
Sprayer	رشاش

Furrow Irrigation	ري أخدودي
Flood Irrigation	ري بالغمر
Surface Irrigation	ري سطحي
Planter	زرّاعة
Capacity	سعة
Throughput Capacity	سعة الإنتاج الكلية
Roller Chain	سلسلة (جنزير) مستنّات
Runoff	سيّل ماء
Phase	طور
Beam	عارضة
Soil Texture Factor	عامل خشونة التربة
Pace Factor	عامل الخطو
Odometer	عداد مسافة
Bench Mark	علّام مرجعي
Grain Drill	غرّازة حبوب
Furrow Opener	فتّاحة أخاديد
Range Finder	قائس مسافة
Optical Range Finder	قائس مسافة بصري

Decimal Feet	قدم عشرية
Foresight Reading	قراءة أمامية
Backsight Reading	قراءة خلفية
Draw Bar	قضيب جر
Polarity	قطبية
Psychrometry	قياس رطوبة الهواء
Salvage Value	قيمة تعويضية
Sweep	كاسحة
Efficiency	كفاءة
Insecticide	مبيد حشرات
Shovel	مجرفة
Enthalpy	محتوى حراري
Sensor	محساس
Bearing	محمل
Power Take-Off (PTO)	محور التدوير الخلفي
Psychrometric Chart	مخطط قياسات رطوبة الهواء
Extension Chord	مدّاة (سلك تطويل)
Tropical	مداري

Sprinkler	مرذاذ
Harrow	مسحاة
Surveying Rod	مسطرة مساحة
Bulb	مصباح/ بُصْبِلَة
Rational Formula	معادلة معدل السيل الأعظمي
Modulus	معامل مرونة
Section Modulus	معامل المقطع
Standard	معيّار
Differential Level	منسوب تفاضلي
Stadia	منظار قياس مسافة
Nozzle	منفث
Broadcast Fertilizer Applicator	ناشر سماد بالنثر
Grain Auger	ناقل حبوب حلزوني/ برّيمة نقل حبوب
Row Crops	نباتات صفّية
System International Unites (SI)	نظام وحدات القياس الدولية (المتريّة)
Customary Units System	نظام وحدات القياس العادية (الأميريكية)
Turning Point	نقطة انتقالية
Breakeven Point	نقطة تساوي الربح والخسارة

State Point	نقطة الحالة
Dew Point	نقطة الندى
Pneumatic	هوائي ضغطي
Profile	هيئة
British Thermal Unit (BTU)	وحدة حرارية بريطانية
Customary Units	وحدة قياس عادية (أميركية)

الفهرس

- أ -

523 ، 526 - 527 ، 536 ، 547 ،

549 ، 551

البولستيرين : 503

آلية نقل الحركة : 111 - 112 ،

120 ، 128 ، 130 ، 171 ، 185 ،

214

- ت -

التآكل التدميري : 424

التآكل المائي : 424 - 426 ، 436

التبريد : 155 - 156 ، 214 ، 390 -

391 ، 501 ، 503 ، 513 - 515 ،

519 ، 529 ، 531 ، 533 ، 545 -

549

التبريد الآلي : 546 - 547

التجهيزات الكهربائية : 577

التدفئة : 501 ، 513 - 515 ، 519 ،

527 ، 529 ، 531 ، 533 - 534

التربة : 151 ، 172 ، 185 ، 191 ،

222 ، 237 - 239 ، 241 ، 268 ،

391 - 392 ، 394 - 395 ، 405 ،

409 ، 413 ، 415 ، 419 ، 423 -

431 ، 433 - 434 ، 436 - 438 ،

- ب -

البذارات الهوائية : 191 - 192

البرتونات : 570

برنامج الصيانة : 268

البُصَيِّلة الجافة : 514 ، 516 - 519 ،

،529 ، 502 ، 480 ، 409 ، 385

576 ، 561 ، 535

الحصان البخاري: 49 ، 59 ، 61 -

63 ، 70 ، 92 ، 105 ، 107 ، 149

- 150 ، 164 ، 237 ، 254 - 255 ،

608 ، 468

الحقل المغنطيسي: 606 - 607

الحلزون: 85 - 87 ، 463 - 464 ،

545

حلزون أرخميدس: 464

- د -

الدارات الكهربائية: 577 - 578 ، 591

الدائرة المتوازية: 578 - 581 ، 583 ،

585

درجة الحرارة: 50 - 51 ، 65 ، 92 ،

154 ، 156 - 157 ، 159 - 160 ،

163 ، 165 ، 440 ، 442 ، 478 ،

484 ، 502 - 503 ، 511 - 512 ،

514 - 516 ، 529 ، 534 ، 536 -

537 ، 545 ، 549 ، 615 - 617

درجة فهرنهايت: 101 ، 157 ، 160 ،

473 ، 505 ، 511 ، 514 ، 517 ،

523 ، 526 ، 530 ، 536 - 537 ،

547 - 549

الدواليب المسننة: 111 ، 117 - 121

الدولاب السَّواق: 118

440 - 443 ، 445 ، 447 - 449 ،

487 ، 489 - 495 ، 497 - 500

التفاعل الكيميائي: 570

تقدير التكاليف: 268

تكاليف الإصلاح: 233 ، 252 -

253 ، 257 ، 259

تكاليف الإنتاج: 212 ، 235 ، 260 ،

488

التكاليف الثابتة: 244 - 246 ، 248 ،

250 - 251 ، 256 - 257 ، 259 ،

266

تكلفة الإيكر: 259 - 260 ، 263 -

264

التلوث الخفيف: 487

تنوع الإنتاج: 262

التهوية: 115 ، 509 ، 512 - 514 ،

527 ، 529 - 530 ، 532 - 536 ،

540 - 542 ، 545 ، 611

- ج -

الجراثيم الهوائية: 497

جودة الأداء: 212

- ح -

حسابات كمية الماء: 35 ، 42 ، 60 ،

70 ، 74 ، 92 ، 105 ، 179 ، 190 ،

217 ، 235 ، 244 ، 267 ، 332 ،

- ذ -

ذراع الرافعة: 57، 62، 85 - 86،

126 - 127

ذراع القوة: 68، 73 - 74، 76،

78، 80، 85

ذراع المقاومة: 68، 73 - 74، 76،

78، 80، 89 - 90

- ص -

الصامولة: 85

صمام ريد: 98 - 99

الصيانة: 96، 231، 252 - 253،

257، 259، 261 - 262، 267 -

268، 273، 450، 616

- ض -

الضجيج: 163، 271 - 282،

608

الضغط: 50، 52، 69، 91 - 96،

98 - 99، 101، 105، 107 -

109، 131 - 135، 139 - 140،

157 - 158، 163، 186، 195،

200 - 201، 387 - 388، 392،

469، 471، 516، 547، 570

الضغط الجوي الطبيعي: 105

الضغط العالي: 387 - 388

الضغط المنخفض: 387 - 388

- ط -

الطاقة الشمسية: 92

الطاقة الكهربائية: 569، 574 - 575،

578، 582، 584، 605، 607

الطاقة الميكانيكية: 92، 95 - 96،

104، 605

الطاقة النووية: 92

- ر -

الرافعة: 57، 62، 68، 71 - 72،

74 - 81، 83، 85 - 88، 126 -

127

الريح والخسارة: 231، 263 - 267،

الري الأخدودي: 441، 456

- س -

سرعة المحرك: 105، 116،

148

سرعة المروحة: 116

سطح التربة: 172، 427، 436 -

437، 440 - 442، 495

سَلَمُ البُصَيْلَةِ المبلولة: 518 - 519

سلم الديسيل: 273

- ش -

الشاقول: 83، 292 - 294، 298،

365

طاقة الوقود الكيميائية: 96، 104،
606

الطقس: 33، 175، 371، 387 -
390، 392، 397

- ع -

العاصفة المطرية: 395، 398
علام المنسوب المرجعي: 360، 372 -
375، 377، 381 - 382
علبة ذراع التدوير: 97 - 99
عمر الآلة: 245، 251، 253، 262
عملية الرش الكيميائية: 204

- غ -

غاز الفريون: 547

- ف -

الفضلات: 487 - 500
الفضلات السائلة: 495 - 496، 498
الفوسفور: 490 - 493، 498، 500

- ق -

قانون باسكال: 131
قضيب الجر: 143، 149 - 152،
161، 163، 237 - 243، 268 -
269

قضيب فيلادلفيا: 362، 366
القوانين الاتحادية الأميركية: 276،

281 - 282

قياس الشد: 149

قياس المسافة البصرية: 303
قياس المناسيب: 359 - 360، 372،
376، 379، 381، 383، 386
قياسات رطوبة الهواء: 513 - 514،
516، 519، 523، 527، 529 -
530، 541، 547 - 549
قيمة الآلة التعويضية: 245، 248

- ك -

الكتلة: 49، 66 - 68، 76، 169،
175، 179، 345، 347، 364،
388 - 391، 485 - 486
كفاءة التشغيل: 234

الكفاءة الميكانيكية: 213
كمية الماء: 439، 442 - 443، 445،
453، 457 - 459، 480، 482 -
483، 531، 541 - 542، 551
كمية الهواء: 531، 541 - 542، 551

- ل -

اللؤلؤ: 85، 464 - 465

- م -

المادة الغازية الساخنة: 547
مجموع المقاومات الإفرادية: 579
المحاصيل الزراعية: 395

محتوى الرطوبة: 515، 519، 523،	408 - 412، 415، 417 - 418،
530، 549، 551	421
محرك الاحتراق الداخلي: 91 - 92،	مفهوم الزمن: 52
213، 606	مفهوم الكفاءة: 211 - 212
محركات الطور المنزلق: 613	مفهوم المقدرة الفعلية: 224
المحركات الكهربائية: 63، 92، 534،	المقاس الاسمي: 506، 561 - 562،
605 - 609، 611 - 612، 617	565
محطة اختبارات نبراسكا للجرارات:	المقاس الفعلي: 561 - 562
151	المقاومة الحرارية: 501 - 504، 506 -
محور التدوير الخلفي: 63، 119،	511، 536
127، 143، 149، 151 - 152،	المقاومة الكلية: 577 - 581، 583 -
159، 161، 163، 170 - 171،	585، 590، 596
197، 254 - 255	مقدار الرطوبة: 476، 480
محور الدوران المركزي: 450	المقدرة الفعلية: 223 - 225، 227 -
مخططات الجريان: 11 - 12، 35 -	228، 236، 260
36	المقدرة النظرية: 222 - 225، 227
مراوح التهوية: 115، 532	مقياس الحرارة: 514
مركز المحور: 79	المكبج: 62 - 63، 148، 151، 157،
المزية الميكانيكية: 74، 77، 79 - 81،	161
83	مكبج بروني: 61 - 63، 148
مساحة الأخدود: 456	المنتجات الحيوية: 463 - 464، 476،
مستوى الصوت: 274، 278 -	484، 513
281	منظم السرعة: 155
المضخات: 131، 149، 154، 195	منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية:
المعالجة الهوائية: 497	151، 161
معايير الأمان والسلامة: 163	منظومات آلية نقل الحركة: 112
معدل السيل الأعظمي: 405 - 406،	منظومات الحقن: 100

المنظومات السائلية : 112
 المنظومات الكهربائية : 112
 المنظومات الميكانيكية : 112
 منظومات الهواء المضغوط : 112 ، 130

- ه -

الهواء : 93 - 95 ، 98 - 102 ، 105 ، 111 - 112 ، 130 ، 146 ، 155 - 156 ، 158 ، 164 ، 186 ، 272 ، 276 ، 387 - 388 ، 390 - 391 ، 427 ، 441 ، 469 - 471 ، 475 - 476 ، 484 - 485 ، 497 ، 503 ، 506 ، 509 ، 513 - 516 ، 519 ، 523 - 524 ، 526 - 527 ، 529 - 534 ، 536 ، 538 ، 541 - 542 ، 545 - 549 ، 551 ، 611

- ن -

التروجين : 490 - 493 ، 498
 التروونات : 570

- و -

واط ، جيمس : 59
 وظائف الذاكرة : 277
 الوقود : 92 - 96 ، 98 - 102 ، 104 - 105 ، 156 ، 162 - 163 ، 213 ، 254 - 255 ، 257 - 258 ، 262 ، 606

- ي -

اليدين البشرية العاملة : 91
 نظرية فيثاغورس : 295 ، 313 ، 601
 نظم التبريد الآلية : 547
 نظم الثقالة : 441
 نظم الري : 440 - 442 ، 447 ، 455
 نقطة الارتكاز : 72 ، 74 ، 76 ، 78 -

مدخل إلى تقانة الهندسة الزراعية نهج حل المسائل (*)

السلسلة: تضم هذه السلسلة ترجمة لأحدث الكتب عن التقنيات التي يحتاج إليها الوطن العربي في البحث والتطوير ونقل المعرفة إلى القارئ العربي.

الكتاب: يُعدُّ هذا الكتاب مرجعاً قيماً لطلاب الزراعة في المستوى التمهيدي. وقد جرى تنقيح هذه الطبعة وتحديثها وإغناؤها بحيث تتوافق مع معايير ووحدات الجمعية الأميركية للمهندسين الزراعيين والحيويين ASABE. ويهدف الكتاب إلى ما يلي:

- اطلاع الطلاب على طيف واسع من تطبيقات مبادئ الهندسة على الزراعة.
- مناقشة مجموعة مختارة من المواضيع المستقلة، ذات العلاقة بالزراعة.

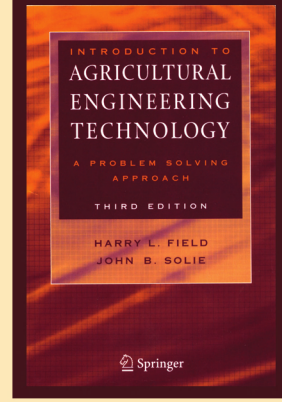
● تطوير مهارات الطلاب في حل المسائل.

ويتضمن كل فصل الأهداف التعليمية منه، إضافة إلى مقدمة وأمثلة على شكل مسائل حيثما كان ذلك ملائماً. ومسائل إضافية باستعمال الوحدات المترية الدولية.

المؤلفان: هاري فيلد: أستاذ مساعد لعلوم المكننة الزراعية بقسم الأنظمة البيولوجية والهندسة الزراعية بجامعة أوكلاهوما.

جون سولي: أستاذ البيولوجيا الميكانيكية بقسم الأنظمة البيولوجية والهندسة الزراعية بجامعة أوكلاهوما.

المترجم: د. حاتم النجدي: أستاذ في الجامعات السورية متخصص بالإلكترونيات والاتصالات، ويهتم بالترجمة العلمية من الإنجليزية إلى العربية.



(*) الكتاب الأول من الزراعة

1. المياه
2. البترول والغاز
3. البتروكيماويات
4. النانو
5. التقنية الحيوية
6. تقنية المعلومات
7. الإلكترونيات والاتصالات والضوئيات
8. الفضاء والطيران
9. الطاقة
10. المواد المتقدمة
11. البيئة
12. الرياضيات والفيزياء
13. الطب والصحة
14. الزراعة
15. البناء والتشييد

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة



المنظمة العربية للترجمة



مدينة الملك عبد العزيز
للعلوم والتقنية KACST



الثمن: 40 دولاراً
أو ما يعادلها